



UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA

Faculdade de Medicina Veterinária

Deformação flexural adquirida da articulação interfalângica distal em poldros

Teresa Margarida Pereira Costa e Curto

ORIENTADOR

Doutora Maria da Conceição da Cunha e Vasconcelos Peleteiro

CO-ORIENTADOR

Doutora Maria Luísa Mendes Jorge

ANO

2012

LISBOA



UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA

Faculdade de Medicina Veterinária

Deformação flexural adquirida da articulação interfalângica distal em poldros

Teresa Margarida Pereira Costa e Curto

Dissertação de Mestrado em Medicina Veterinária

ORIENTADOR

Doutora Maria da Conceição da Cunha e Vasconcelos Peleteiro

CO-ORIENTADOR

Doutora Maria Luísa Mendes Jorge

ANO

2012

LISBOA

“A butterfly flaps its wings in one part of the world and on the other side a hurricane happens.”

Edward Lorenz

AGRADECIMENTOS

Não teria sido possível realizar este trabalho sem o empenho e colaboração de um conjunto de pessoas incansáveis e com uma disponibilidade constante para me auxiliarem e orientarem ao longo deste trajecto.

Às minhas Orientadora e Co-Orientadora cabem as minhas primeiras palavras de gratidão pela orientação, disponibilidade e ajuda ao longo dos meses.

À Professora Doutora Maria da Conceição Peleteiro, agradeço a participação neste estudo, por todo o empenho e determinação na orientação deste projecto, os seus ensinamentos e conselhos.

À Professora Doutora Luísa Mendes Jorge a minha gratidão estende-se à sua disponibilidade constante a todos os níveis, observações oportunas, críticas construtivas e à amizade que surgiu de tantos momentos de trabalho conjunto.

Ao Dr. Júlio Cavaco Faísca manifesto o meu profundo agradecimento pelo entusiasmo relativamente ao projecto, pelo incentivo constante e amizade que sempre demonstrou para comigo.

Ao Dr. João Pedro da Costa Pereira, expresso o meu agradecimento no apoio, desde sempre, do ponto de vista clínico e sem o qual não teria sido possível a realização do trabalho de campo.

Ao Dr. Luís Lamas agradeço as suas constantes manifestações de confiança, observações pertinentes, espírito crítico e interesse científico demonstrado por este estudo.

Ao Dr. Nuno Castelo-Branco, Patologista responsável por várias publicações na área do Ruído de Baixa Frequência, agradeço o seu entusiasmo e apoio neste projecto na área da Medicina Veterinária.

Ao Doutor Nuno Nunes, responsável pelas medições do som na Coudelaria expresso o meu agradecimento pelo seu apoio na compreensão dos conceitos de Acústica.

Expresso a minha gratidão ao Professor Doutor João Azevedo e Professor Jorge Proença do Instituto Superior Técnico, pela disponibilidade imediata e total com que acolheram este projecto e participaram de forma indispensável relativamente à avaliação das características ambientais da Coudelaria e sua relevância para este trabalho.

Ao Dr. João Paulo Salles Luís e Dra. Paula Tilley agradeço o apoio clínico prestado aos animais estabulados nas instalações da FMV.

À Engenheira Maria João Fradinho e Professora Doutora Graça Ferreira agradeço o seu apoio e acompanhamento nos trabalhos de medição do osso cortical.

Ao Dr. João Bettencourt Cotta e à Engenheira Rita Fernandes manifesto a minha gratidão pelas horas de trabalho de campo no auxílio nas medições dos poldros da Coudelaria.

Ao Dr. Óscar Gamboa o meu agradecimento pelo auxílio na realização do exame de Tomografia Axial Computorizado e pela sua amizade.

À Dra. Rute Noivo o meu agradecimento pela ajuda na preparação das apresentações ao longo do estudo.

Às técnicas do Laboratório de Anatomia Patológica da FMV, Sra. D. Maria do Rosário Luís, Sra. D. Maria Augusta Luís, o meu sincero agradecimento pelo trabalho, e pela simpatia manifestada a cada ida ao Laboratório.

Ao Sr. Bruno Fortunato e Sr. Carlos agradeço o apoio relativamente ao maneio e tratamento dos equinos em estudo.

Agradeço à Faculdade de Medicina Veterinária pelo apoio deste projecto e participação constante no decorrer deste trabalho.

À minha família e todos os meus amigos expresso a minha gratidão pela presença, amizade permanente e apoio ao longo deste projecto.

TÍTULO: Deformação flexural adquirida da articulação interfalângica distal em poldros

RESUMO

Numa coudelaria de cavalos Lusitanos em Torres Vedras foi observado, desde 2008, o desenvolvimento de deformações flexurais (DF) adquiridas nos membros torácicos dos poldros em crescimento. As lesões foram estudadas em onze animais através da realização do exame físico de estado geral, exame ortopédico, exames radiográfico, ultrasonográfico e tomografia axial computadorizada, goniometria, medição de osso cortical do terceiro metacarpiano por meio de ultrasonografia quantitativa e por realização de análises histopatológicas em material de biópsia e de necrópsia. Todos os animais estavam a ser alimentados com uma dieta comercial adequada para equinos. De forma a excluir uma possível causa genética foram introduzidos na exploração dois animais de outra genealogia que também desenvolveram a mesma patologia, ao fim de seis meses. Dois dos poldros afectados foram colocados numa pastagem diferente da de origem e dois outros poldros igualmente afectados foram admitidos nas instalações da FMV. Em três destes animais, (um foi eutanasiado por razões humanitárias), observou-se uma recuperação parcial da deformação flexural.

Procedeu-se à análise histopatológica de (i) fragmentos de tendão obtidos na sequência de desmotomia realizada a um dos poldros, (ii) biópsias de tendão realizadas a 3 poldros e ainda (iii) tecidos recolhidos na referida necrópsia. Microscopicamente, as alterações mais significativas foram identificadas no tecido muscular liso, com dissociação das miofibrilhas, particularmente grave no intestino delgado e na parede de alguns vasos sanguíneos, incluindo a vasculatura dos tendões.

As DF surgem quando ocorre desfasamento no desenvolvimento longitudinal entre as estruturas ósseas e os tecidos moles adjacentes da extremidade distal do membro sendo que a sua etiopatogenia é complexa e multifactorial. O desfasamento pode dever-se a um crescimento demasiado rápido do osso, não acompanhado pelos tecidos moles, ou por um encurtamento destes últimos em resposta a um estímulo doloroso. Neste estudo não se observou uma causa evidente que pudesse levar ao aparecimento das DF, assim sendo, a alteração verificada nas condições ambientais adjacentes à Coudelaria poderão ter tido um papel determinante no desenvolvimento desta patologia.

Palavras-Chave: Deformação flexural adquirida; articulação interfalângica distal; condições ambientais; poldros.

TITLE: Acquired flexural deformity of the distal interphalangeic joint in foals

ABSTRACT

Since 2008, a high prevalence of front limb acquired flexural deformities was observed in a Lusitano stud farm. This work aims to evaluate this problem by reporting the results from tissue alterations in the affected animals as well as environmental conditions and management changes, which could have led to this observation.

A total of eleven affected animals were studied. In these, a complete physical and orthopaedic examination were performed specifically the determination of the angle between the dorsal hoof wall and the floor. Radiographic examination, CT imaging, determination of the thickness of the cortical bone of the third metacarpian and histopathology of some tissues collected in biopsy and necropsy were done in a subset of affected foals. All the animals had been supplemented with balanced commercial diet for equine. To investigate a possible genetic cause, two foals from distinct bloodlines were brought to the stud. These also developed the deformities after 6 months. Two of the affected foals were placed in a pasture away from the initial one and two others were admitted at the Faculdade de Medicina Veterinária de Lisboa. In those animals, except for one that had to be euthanized for humane reasons, an improvement was observed on their condition, with partial recovery of the deformity.

Histopathology was performed from (i) the tendon obtained by surgical desmotomy in one foal, (ii) tendon biopsies were performed in three foals and (iii) from the tissue of one foal during necropsy.

Histologically the most significant alterations were the dissociation of myofibrils of the smooth muscle. This was predominantly seen in the small intestine but also in the walls of small capillary vessels, including those of the tendon vasculature.

The flexural deformities have a complex and multifactorial etiopathogeny. They occur due to uncoupling of the longitudinal development of the bone and its adjacent soft tissues, but also from shortening of the tendon-muscle unit in response to pain.

In the case series presented here, there was no obvious cause for the development of this problem, therefore we hypothesised that unusual environmental conditions might have played an important role in the development of this condition, especially those introduced in recent years.

KEY WORDS: Acquired flexural deformity; distal interphalangeal joint; environmental conditions; foals.

ÍNDICE GERAL

CAPITULO I – INTRODUÇÃO	1
1.1. Deformações flexurais (DF) em poldros	4
1.1.1. Etiopatogenia das deformações flexurais adquiridas	6
1.1.2. Fisiopatogenia das deformações flexurais adquiridas	7
1.2. Mecanotransdução	12
1.2.1. Mecanobiologia dos tendões	13
1.2.2. Mecanobiologia do tecido ósseo	15
1.3. Condições ambientais da Coudelaria	18
1.3.1. O ruído gerado pelas TE	19
1.3.2. Vibração das TE propagada através do solo	21
 CAPITULO II – MATERIAL E MÉTODOS	 22
2.1. Animais	22
2.2. Exames efectuados	24
2.2.1. Anamnese	24
2.2.2. Exame clínico	24
2.2.3. Goniometria	26
2.2.4. Exames radiológicos	26
2.2.5. Exames Ecográficos	28
2.2.6. Medição do Osso Cortical	28
2.2.7. Tomografia Axial Computorizada (TAC)	30
2.2.8. Desmotomia e biópsias do LATDFP e do TDFP	30
2.2.9. Análises histopatológicas	31
2.2.8.2. Processamento das amostras	33
2.2.10. Medições do ruído	36
2.2.11. Medições das vibrações do solo	36

Capítulo III – RESULTADOS

3.1. Anamnese e exame clínico	39
3.2. Goniometria. Medição do ângulo entre a parede dorsal do casco e o solo	44
3.3. Exames Radiológicos	44
3.4. Exames Ecográficos	44
3.5. Medição do Osso Cortical	46
3.6. Tomografia Axial Computorizada (TAC)	47
3.7. Desmotomia e biópsias do LATDFP	47
3.8. Análises anatomohistopatológicas	49
3.9. Medições do ruído	58
3.10. Medições de vibrações do solo	58

IV DISCUSSÃO	60
---------------------	-----------

V CONCLUSÃO	65
--------------------	-----------

BIBLIOGRAFIA	67
---------------------	-----------

ANEXO I	73
----------------	-----------

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Deformação flexural da articulação interfalângica distal num dos poldros afectados na coudelaria.	2
Figura 2 – Fotografias aéreas mostrando a coudelaria e as turbinas eólicas.	2
Figura 3 – Pastagem da Coudelaria mostrando uma das éguas reprodutoras e uma TE próxima.	3
Figura 4 – Extremidade distal de um membro torácico de equino.	5
Figura 5 – Imagem radiográfica de um dos poldros do grupo de estudo, afectado unilateralmente. A imagem de cima mostra o marcado desvio no plano sagital, enquanto na imagem de baixo se observa o membro correctamente aprumado	9
Figura 6 – Esquema de avaliação do ângulo entre a parede dorsal do casco e o solo	9
Figura 7 – Representação esquemática da desmotomia do LATFDP	11
Figura 8 – Modelo das vias envolvidas na mecanotransdução	13
Figura 9 – Reconstruções tridimensionais de osso trabecular do fémur distal de ovelhas.	16
Figura 10 – Representação esquemática de ondas sonoras emitidas pela TE e sua propagação.	20
Figura 11 – Poldros nascidos em 2011 junto às progenitoras na Coudelaria	23
Figura 12 – Realização do exame estático	25
Figura 13 – Avaliação do casco utilizando a pinça de cascos.	25
Figura 14 – Goniómetro. Instrumento de medição do ângulo entre a parede dorsal do casco e o solo	27
Figura 15 – Digitalizador utilizado no processamento das imagens radiográficas e ampola geradora de radiação	27
Figura 16 – Animais dentro da manga ou tronco de contenção para realização de exames	29
Figura 17 – Necrópsia do equino “Faneca” na sala de necrópsias da FMV	32
Figura 18 – Equino “Desplante” submetido a desmotomia do LATFDP sob anestesia geral	33
Figura 19 – Equino “Engenheiro” submetido a biópsia realizada sob sedação e analgesia local	33
Figura 20 – Unidade triaxial de registo de acelerações	38

Figura 21 – Poldros do grupo de estudo. Conformação do casco típica desta DF	41
Figura 22 – Equino “Fundí”, permanece nas instalações da FMV	43
Figura 23 – Ângulo entre a parede do casco e o solo em poldros afectados	45
Figura 24– Imagem radiológica do equino “Fundí” que permanece estabulado nas instalações da FMV	45
Figura 25 – Modelo tridimensional realizado através do programa <i>Mimics</i> , utilizando as imagens da TAC efectuada ao equino “Faneca”	47
Figura 26 – Todas as fotografias mostram edema intracelular e dissociação das fibras musculares lisas da parede intestinal. H&E, x40	53
Figura 27 – Dissociação das fibras musculares esqueléticas. H&E, x400	54
Figura 28 – Tecido cardionector apresentando as fibras distribuídas de forma aleatória. H&E, x400	54
Figura 29 – Edema intercelular das fibras musculares lisas da bexiga. H&E, x400	55
Figura 30 – Vasos do tecido adjacente ao tendão flexor digital superficial rodeando uma artéria bloqueada, à esquerda. A estrutura da túnica média mostra dissociação celular e das fibras. H&E, x40	55
Figura 31 – Vasos do tecido adjacente ao tendão flexor digital superficial. Edema das células da túnica média (H&E, x400)	56
Figura 32 – Pequena artéria nos pulmões, mostrando dissociação das células da túnica média e adventícia. (H&E, x400)	56
Figura 33 – Pequena artéria nos pulmões, mostrando calcificação subintimal – <i>corpora intima</i> H&E, x400	57

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Material e Métodos. Grupo de equinos estudados. N=11	23
Tabela 2 – Resultados. Medição do osso cortical. Valores da Velocidade do Som (VDS, m/s) obtidos nas várias medições do MCIII	46
Tabela 3 – Resultados. Medição do osso cortical. Média aritmética dos aspectos dorsais e laterais medidos nos 3 diferentes grupos etários dos equinos do grupo de estudo	46
Tabela 4 – Resultados após os procedimentos dos equinos do grupo de estudo	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DDO – Doenças de desenvolvimento ortopédico

DF – Deformação flexural

DFA – Deformação flexural adquirida

DFAID- Deformação flexural da articulação interfalângica distal

DFAAID – Deformação flexural adquirida da articulação interfalângica distal

FMV – Faculdade de Medicina Veterinária

LATDFP – Ligamento acessório do tendão digital flexor profundo

MEC – Matriz extra-celular

TAC – Tomografia Axial Computorizada

TE – Turbina eólica

TFDS – Tendão flexor digital superficial

TFDP – Tendão flexor digital profundo



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Anexo I

ICIST

MEDIÇÃO DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS INDUZIDAS POR TORRES EÓLICAS EM VILA SECA, TORRES VEDRAS

Estudo realizado para a Faculdade de Medicina Veterinária,
da Universidade Técnica de Lisboa

Julho de 2012

Relatório ICIST

EP nº 15/12

ÍNDICE GERAL

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	CAMPANHA EXPERIMENTAL DE COLHEITA DE REGISTOS DE VIBRAÇÃO	
	MECÂNICA	3
2.1	GENERALIDADES	3
2.2	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	3
2.3	LOCAIS DE MEDIÇÃO	3
2.4	EQUIPAMENTO.....	5
2.5	IDENTIFICAÇÃO DOS REGISTOS	6
3.	ANÁLISE DOS REGISTOS	7
3.1	GENERALIDADES	7
3.2	INTENSIDADE DAS VIBRAÇÕES	7
3.3	ANÁLISE DE FREQUÊNCIAS	13
4.	CONCLUSÕES	17

1. INTRODUÇÃO

O presente relatório resume os estudos de medição de vibrações mecânicas numa quinta de exploração pecuária, doravante identificada simplesmente por exploração, existente em Vila Seca, Torres Vedras (39° 07' 26'' N; 09° 08' 51'' W). Estes estudos foram realizados pelo ICIST/IST (Instituto de Engenharia de Estruturas, Território e Construção, do IST, Universidade Técnica de Lisboa) por solicitação da Faculdade de Medicina Veterinária, também da Universidade Técnica de Lisboa.

A exploração na qual foram colhidos os registos de vibrações mecânicas dedica-se especialmente à criação de cavalos para toureio.

O objectivo principal dos estudos realizados consiste na caracterização das vibrações mecânicas induzidas em diferentes locais da referida exploração pela operação das torres eólicas existentes na sua proximidade, tendo em vista analisar os eventuais efeitos nos cavalos das vibrações resultantes dessa operação.

2. CAMPANHA EXPERIMENTAL DE COLHEITA DE REGISTOS DE VIBRAÇÃO MECÂNICA

2.1 Generalidades

Apresenta-se de seguida o procedimento experimental adoptado, compreendendo a descrição dos locais de colheita e do equipamento utilizado, assim como a identificação dos registos.

2.2 Procedimento Experimental

O procedimento experimental adoptado consistiu na colheita de registos triaxiais¹ de vibração em diferentes locais situados dentro da exploração, assim como em alguns locais situados fora da mesma, mais próximos ou afastados das torres eólicas.

Os aparelhos de medição de vibrações foram instalados sobre o terreno, tendo sido colhidos registos digitais de vibração com durações variáveis, próximas de 1 minuto.

A colheita dos registos foi realizada em duas ocasiões distintas: 22 de Março de 2012 e 25 de Junho de 2012. Na primeira recolha de dados verificaram-se, em alguns dos locais, potenciais anomalias no procedimento de colheita dos registos – efeito do vento (os aparelhos de medição não se encontravam protegidos) e efeitos de movimentação humana e de animais na proximidade – que, de uma forma geral, conjugado com o reduzido nível de vibrações ambientais existente, fazem com que se tenha optado por uma segunda recolha de dados. Nessa segunda recolha de dados foram tidos os cuidados que se verificaram ser necessários para que os registos se referissem exclusivamente aos efeitos da vibração ambiental.

2.3 Locais de medição

No conjunto das duas ocasiões anteriormente referidas procedeu-se à colheita de registos em seis grupos de locais, assinalados na figura 1 e identificados na seguinte lista:

A – exterior, junto a um telheiro, próximo das torres (A1, A2 e A3, consoante distância, decrescente, para as torres eólicas, sendo o local A3 situado junto à vedação da exploração mais próxima de uma das torres), (39° 07' 26'' N; 09° 08' 51'' W);

¹ Esses registos individualizam as três componentes cartesianas da aceleração medida num determinado ponto, sendo as direcções X e Y correspondentes às direcções circunferencial e radial (relativamente à torre eólica mais próxima) e a direcção Z a direcção vertical.

- B** – interior, no estábulo mais próximo das torres (apenas na primeira recolha de dados);
- C** – interior, no estábulo mais afastado das zonas das torres (apenas na primeira recolha de dados);
- D** – exterior, numa zona afastada das torres (planalto), (39° 07' 31" N; 09° 09' 01" W);
- E** – exterior, fora da exploração, na base de uma das torres (39° 07' 17" N; 09° 08' 33" W);
- F** – exterior, no limite norte da zona urbana da povoação da Folgorosa (39° 08' 00" N; 09° 09' 13" W; não representado na figura 1) apenas na segunda recolha de dados.

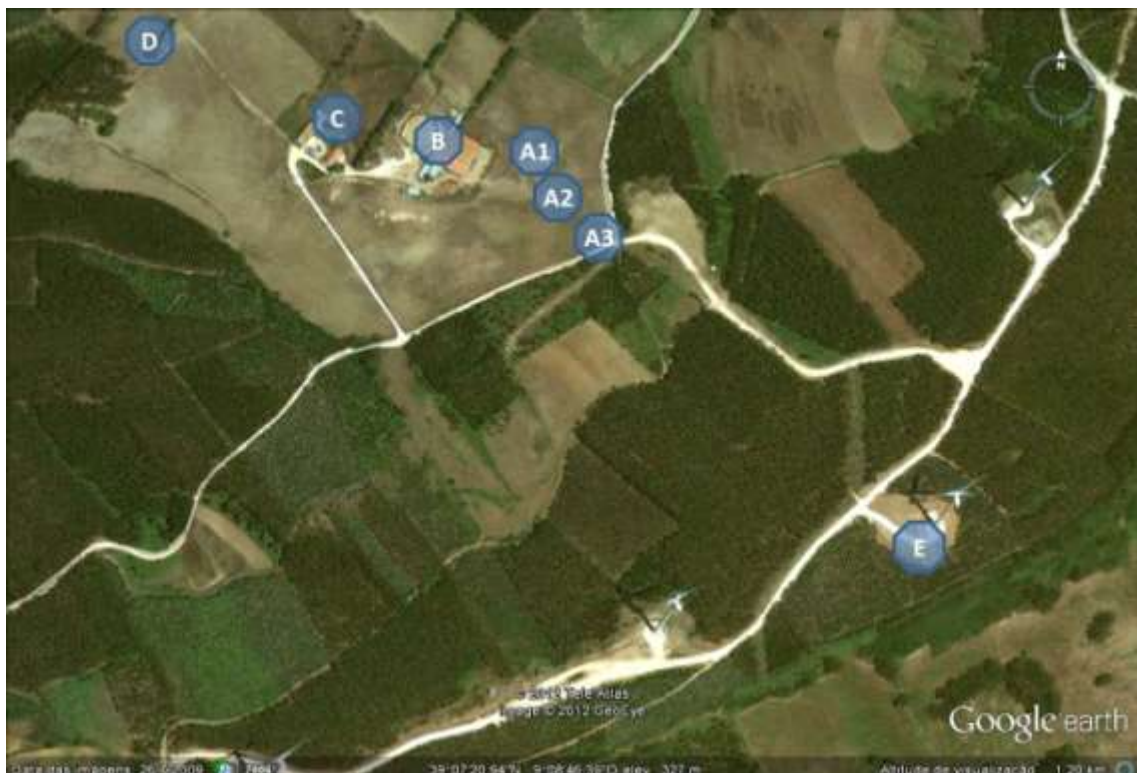


Figura 1: Planta com a localização dos pontos de colheita de registos (fonte: GoogleEarth).

A título indicativo, a distância entre o local mais próximo (A3) da zona das torres eólicas e a torre eólica mais próxima (E) é de aproximadamente 350m. Ainda a esse título, a distância entre os locais A1 e A3 é próxima dos 100m e a distância do local mais afastado representado na figura 1 (D) e a torre eólica mais próxima (E) é de aproximadamente 800m. O local F está situado fora da exploração numa zona afastada cerca de 1750 metros das torres.

2.4 Equipamento

Os registos de vibração foram efectuados com o recurso a unidades triaxiais de registo digital de acelerações da marca Kinemetrics, modelo ETNA (com sensor interno Episensor), análogas à representada na figura 2. Na primeira data de recolha de dados utilizaram-se três unidades distintas enquanto que na segunda data se utilizou apenas uma unidade.

As características mais relevantes da unidade de registo de vibrações utilizada encontram-se sucintamente indicadas na lista seguinte:

- Sensor triaxial Episensor, com as seguintes especificações:
 - gama dinâmica superior a 135 dB
 - largura de banda do sensor de DC até 200 Hz
 - linearidade $< 1000 \mu\text{g}/\text{g}^2$
 - histerese $< 0.1\%$ do *full scale*
 - sensibilidade cruzada inferior a 1% (incluindo desalinhamentos)
 - *full-scale* seleccionável por *hardware* entre 0.25g e 4g
- Unidade de condicionamento de sinal, digitalização e registo com as seguintes especificações:
 - armazenamento dos registos em cartão PCMCIA interno
 - condicionamento e filtragem analógica do sinal, designadamente através de filtragem passa-baixo com corte a 80% da frequência de Nyquist e 120 dB de atenuação na frequência de Nyquist
 - conversão analógico-digital efectuada com resolução de 18 bits
 - armazenamento dos registos em cartão PCMCIA interno.

A unidade utilizada foi configurada com um *full-scale* de 1g, a que corresponde uma resolução em aceleração, após a digitalização, de $0,0008 \text{ cm/s}^2$.



Figura 2: Unidade triaxial de registo de acelerações.

2.5 Identificação dos registos

Como foi atrás referido, verificou-se que os registos colhidos na primeira recolha de dados apresentavam alguns efeitos espúrios, como sejam a acção do vento e eventualmente passadas humanas e de animais, pelo que se optou por realizar uma segunda recolha de dados. Por esse facto referem-se no presente documento apenas os registos colhidos na segunda recolha de dados, com a excepção daqueles recolhidos no local F. A identificação dos registos encontra-se indicada no quadro 1.

Quadro 1: Identificação dos registos (2ª recolha)

Local	Registo	Observações
A1	CX001	Eólica 1 parada
	CX002	Eólica 2 47 passagens/min.
	CX003	Eólica 3 33 passagens/min.
	CX004	
	CX005	
	CX006	
	CY001	
	CY002	
	CY003	
	CY004	
	CY005	
	CY006	
A3	CZ001	
	CZ002	
	CZ003	
	CZ004	
	CZ005	
	CZ006	

Local	Registo	Observações
D	DA001	
	DA002	
	DA003	
	DA004	
	DA005	
	DA006	
F	DB001	
	DB002	
	DB003	
	DB004	
	DB005	
	DB006	
	DB007	
	DB008	

Em todos os registos realizados – primeira e segunda recolha de dados – a frequência de aquisição foi de 250 Hz (250 SPS).

A velocidade do vento durante a segunda recolha de dados era, segundo informação do Instituto de Meteorologia, de aproximadamente 27km/h.

Quanto à frequência do movimento das pás dos aerogeradores, verificou-se em ambas as recolhas que esta era variável (de torre para torre e, numa determinada torre, durante o período de observação), situando-se entre 9 e 15 rotações totais por minuto. Considerando que os aerogeradores são de três pás, a este movimento corresponde, por minuto, entre 27 e 45 passagens por minuto das pás pela torre do aerogerador.

De entre as medições realizadas na primeira recolha referem-se os registos CO001 a CO005, colhidos sobre a base da torre eólica mais próxima (local E), neste caso sem perturbações por outras fontes.

3. ANÁLISE DOS REGISTOS

3.1 Generalidades

A análise dos registos foi conduzida procurando correlacionar a intensidade das vibrações ambientais com o local de colheita, procurando assim inferir sobre até que ponto as vibrações ambientais são afectadas pela operação das torres eólicas. Em acréscimo, procedeu-se a uma análise sumária da distribuição em frequência, procurando identificar frequências predominantes.

3.2 Intensidade das vibrações

A intensidade das vibrações pode ser inferida dos traçados (aceleração *versus* tempo) das componentes dos registos. Nesse sentido apresentam-se de seguida (Figuras 3 a 12) os traçados de alguns registos, agrupados por ordem directa da distância às torres eólicas mais próximas. Apresentam-se apenas as imagens dos registos correspondentes às componentes horizontais (X e Y), dado as componentes verticais (Z) serem de menor amplitude. Com efeito, dos vários registos efectuados, pode constatar-se que os valores máximos das componentes verticais das acelerações medidas são, de uma forma geral, aproximadamente iguais a $1/3$, nalguns casos cerca de $1/2$ dos valores máximos das componentes horizontais.

Embora não sejam apresentados, os valores registados na primeira recolha de medições nos locais B e C (interior de dois estábulos) são comparáveis com os valores registados nos locais A1 a A3.

Local E (base da torre mais próxima)

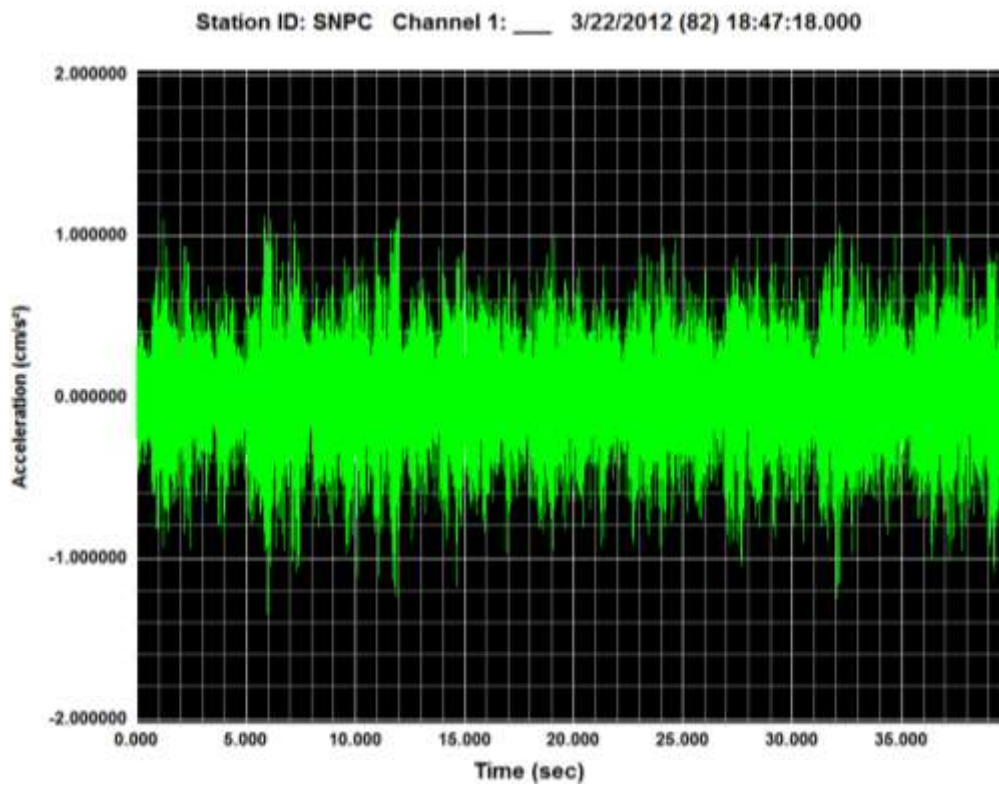


Figura 3: Traçado da componente X, diametral, do registo CO002 (local E).

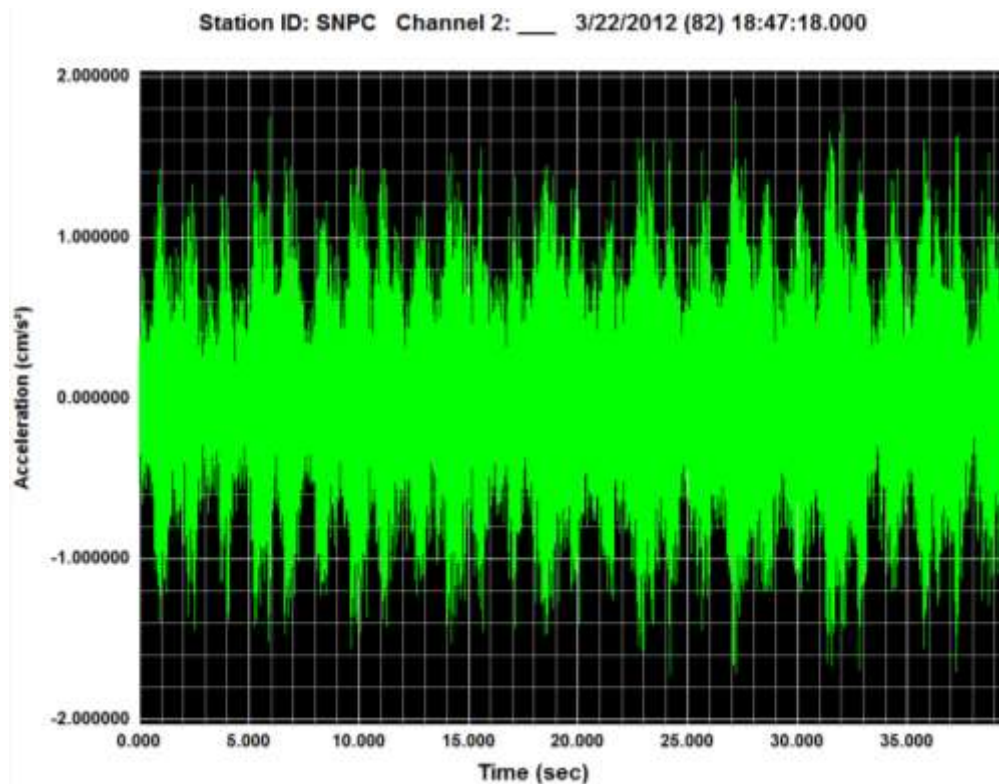


Figura 4: Traçado da componente Y, radial, do registo CO002 (local E).

Local A3 (pastagem, cerca de 350m da torre mais próxima)

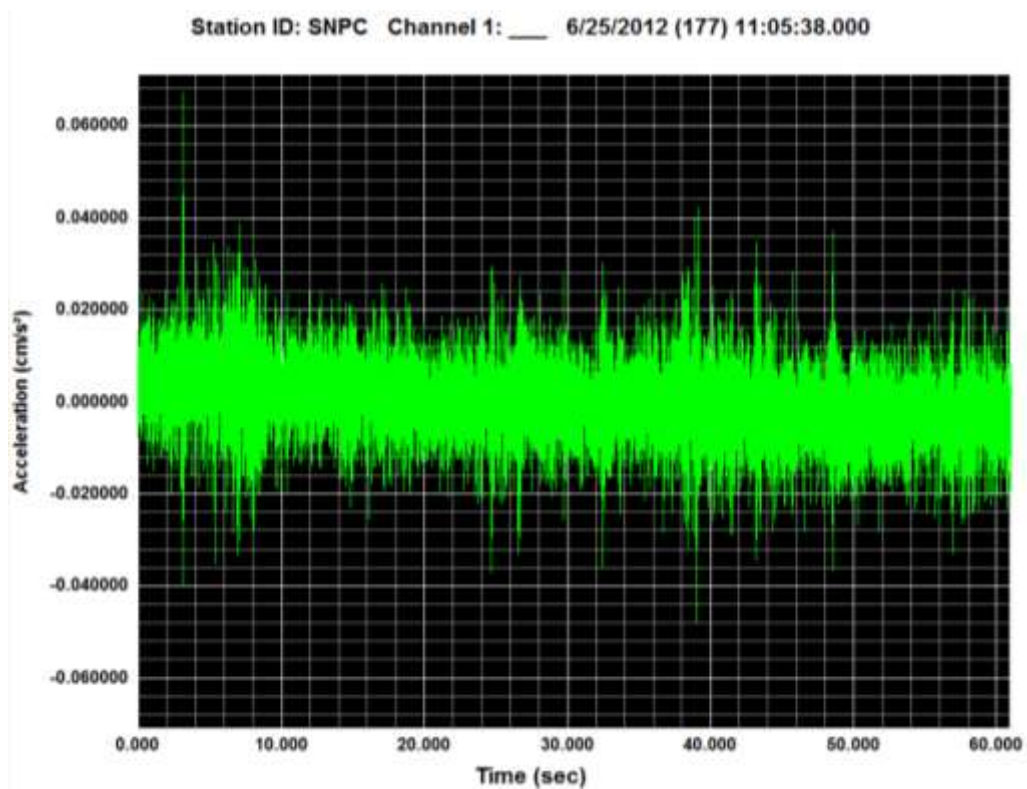


Figura 5: Traçado da componente X, diametral, do registro CZ005 (local A3).

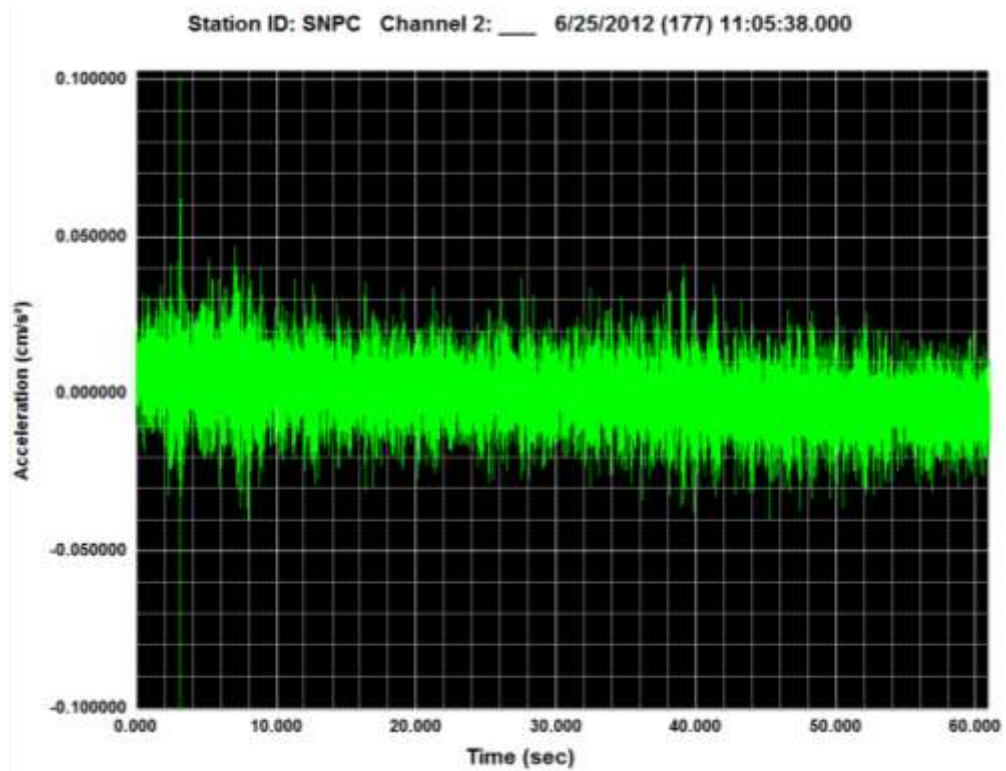


Figura 6: Traçado da componente Y, radial, do registro CZ005 (local A3).

Local A1 (pastagem, cerca de 450m da torre mais próxima)

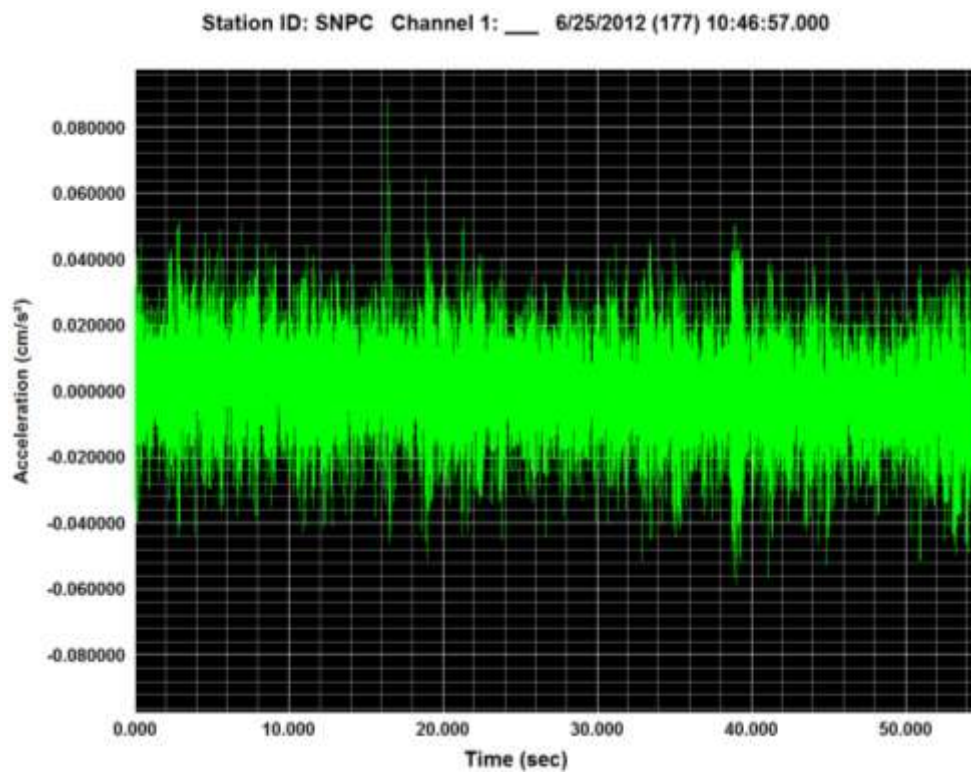


Figura 7: Traçado da componente X, diametral, do registro CY005 (local A1).

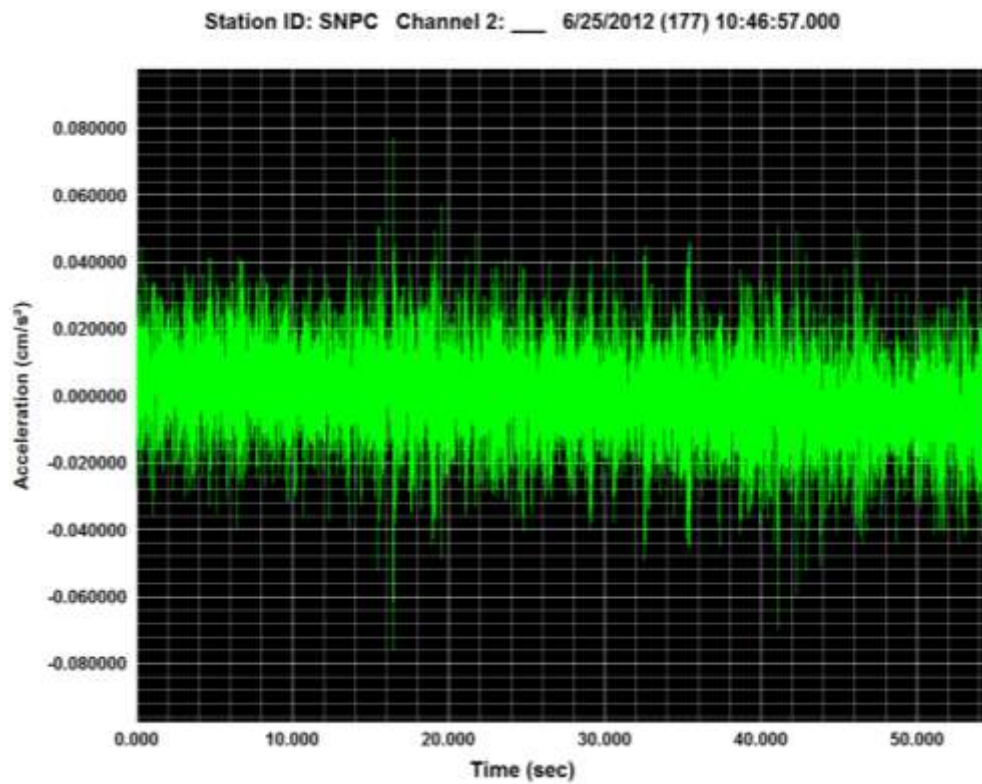


Figura 8: Traçado da componente Y, radial, do registro CY005 (local A1).

Local D (pastagem, cerca de 800m da torre mais próxima)

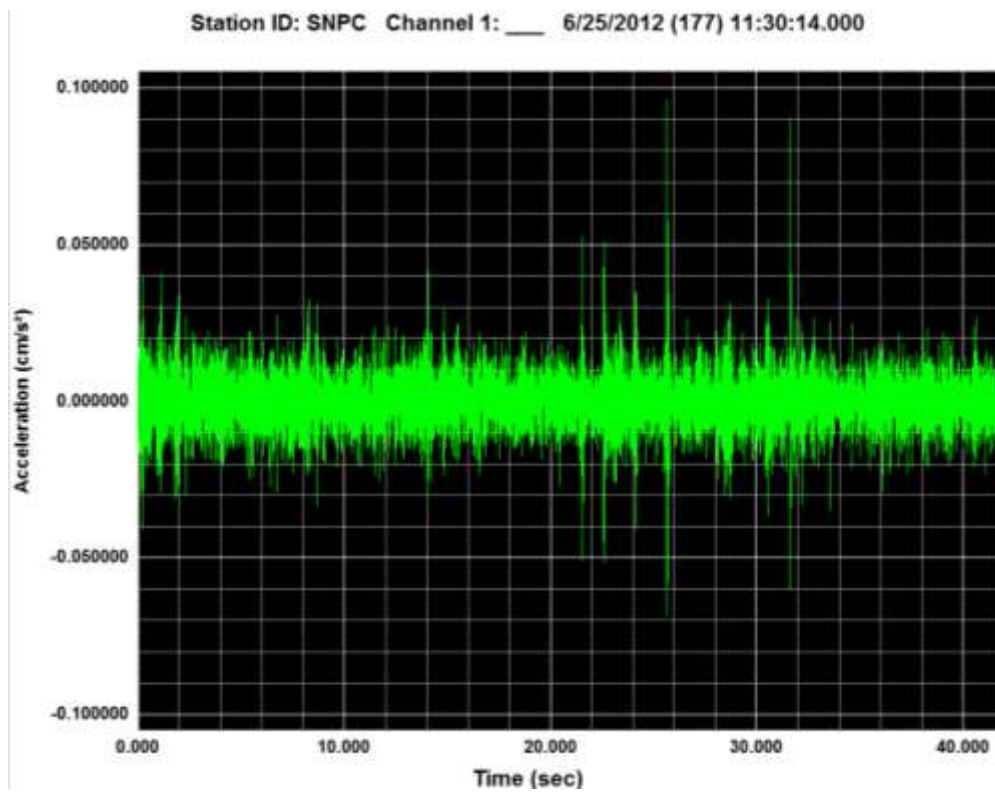


Figura 9: Traçado da componente X, diametral, do registo DA006 (local D).

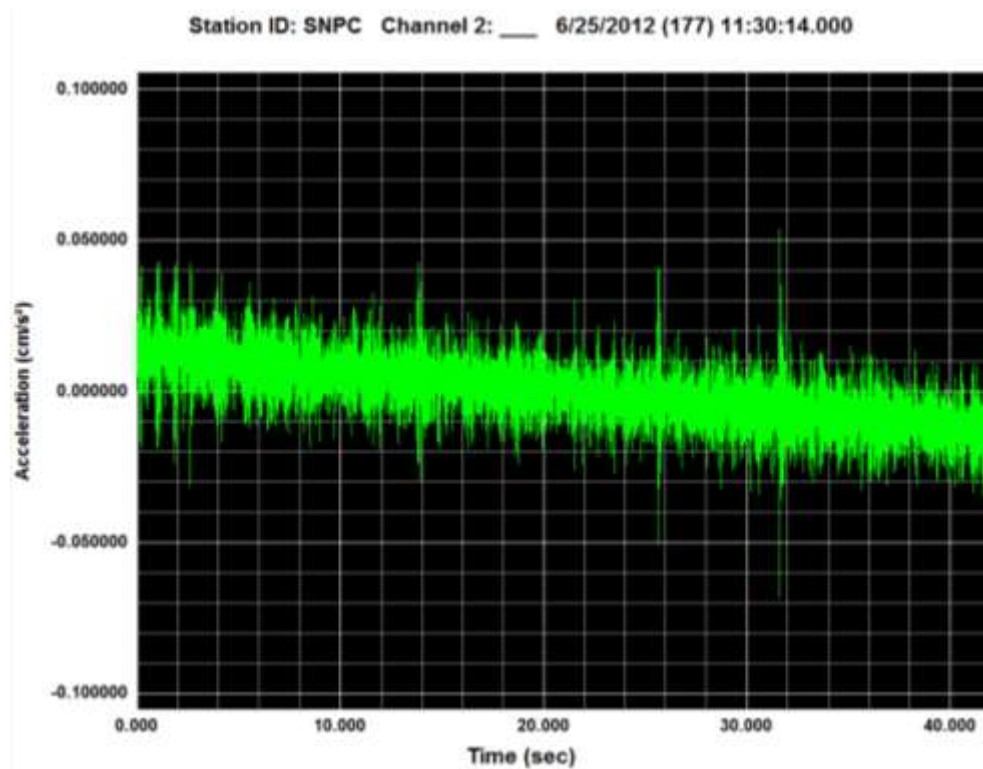


Figura 10: Traçado da componente Y, radial, do registo DA006 (local D).

Local F (mais afastado das torres eólicas, fora da exploração)

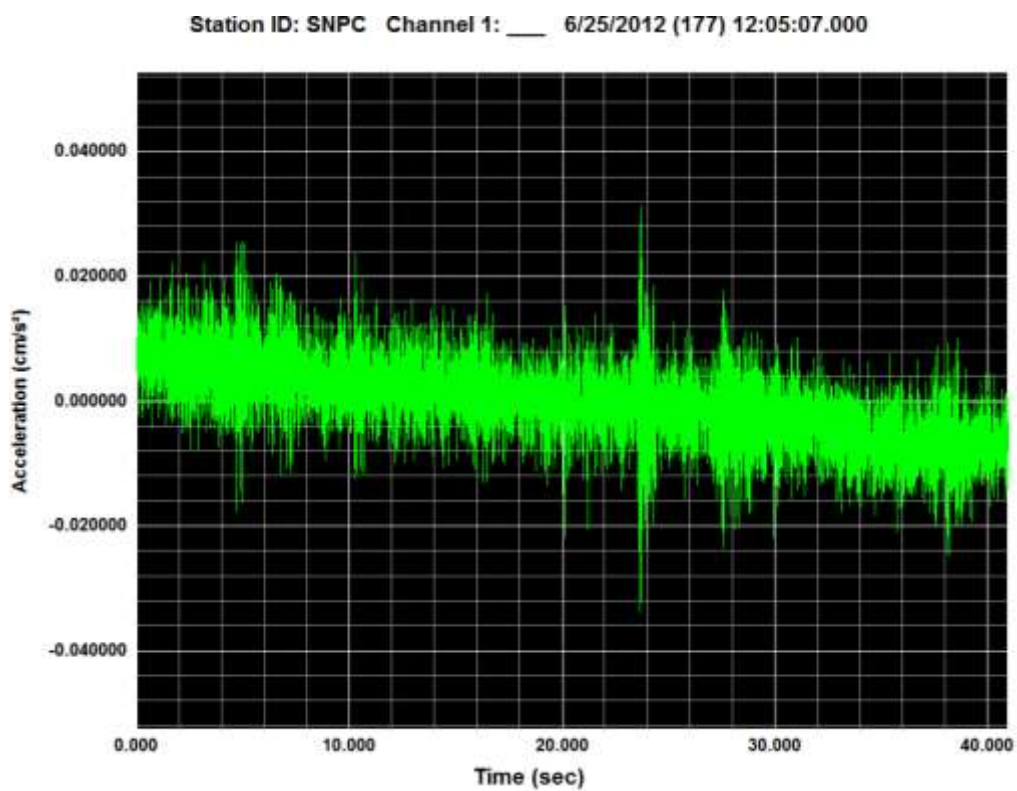


Figura 11: Traçado da componente X, diametral, do registo DB005 (local F).

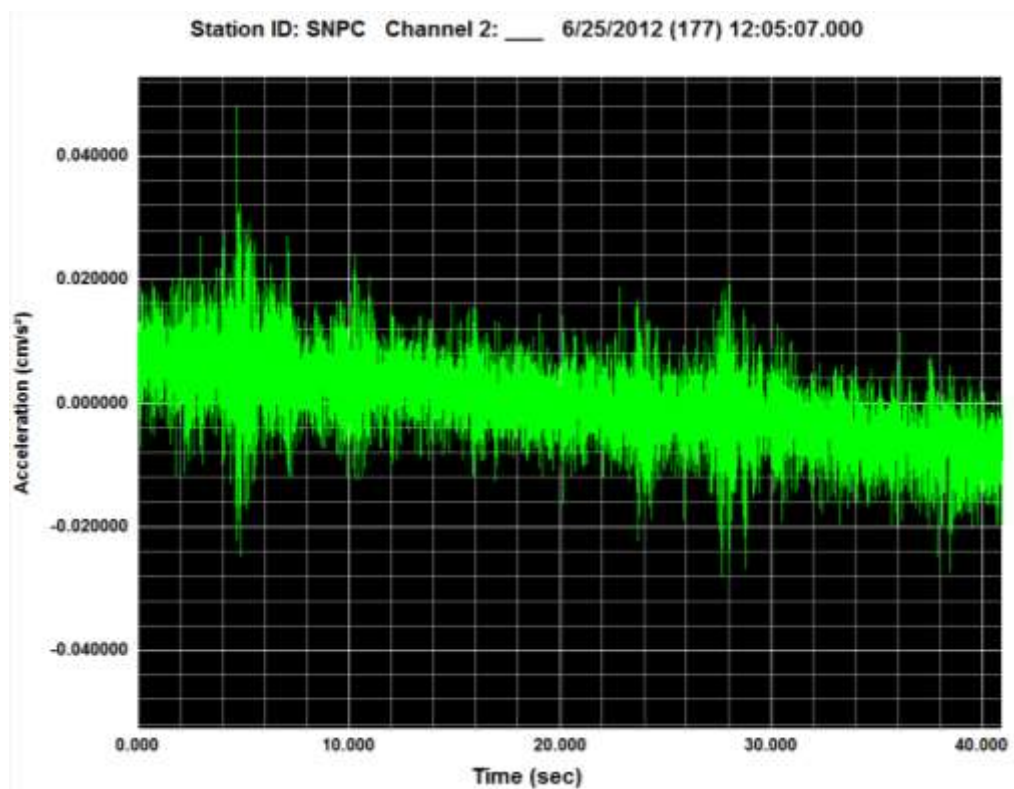


Figura 12: Traçado da componente Y, radial, do registo DB005 (local F).

Da observação das figuras anteriores (Figuras 3 a 12), sobretudo daquelas referentes a registos de menor intensidade (Figuras 10 a 12), verifica-se uma ligeira deriva das leituras (os valores não são sempre centrados em acelerações nulas), que resulta da baixa intensidade e, como se verá, se manifesta numa componente de muito baixa frequência (com um período da ordem de grandeza da duração dos registos). Este facto não obsta a que se possam tirar conclusões relativamente à intensidade das vibrações nos diferentes locais e, consequentemente, à atenuação dessa intensidade com a distância às torres eólicas.

Duma forma resumida e considerando todos os registos colhidos nos diferentes locais, apresentam-se no Quadro 2 os valores máximos de aceleração registados (de novo se adopta aqui uma ordem correspondente à distância à zona das torres eólicas).

Apresenta-se uma gama de variação dos valores máximos (valores de pico)

Quadro 2: Valores máximos de aceleração (radial e diametral)

Local	Diametral	Radial
E - base das torres	0,9 a 1,1 cm/s ²	1,5 a 1,9 cm/s ²
A3 - pastagem, mais próximo das torres	0,03 a 0,04 cm/s ²	0,03 a 0,04 cm/s ²
A1 - pastagem, menos próximo das torres	0,04 a 0,05 cm/s ²	0,04 a 0,05 cm/s ²
D - pastagem, mais afastado das torres	0,02 a 0,03 cm/s ²	0,02 a 0,03 cm/s ²
F - exterior à exploração, afastado das torres	0,015 a 0,02 cm/s ²	0,015 a 0,02 cm/s ²

Da observação do Quadro 2 pode constatar-se que, em termos de valores máximos, o efeito direccional (diferenças entre as componentes diametral e radial) é apenas claro junto às torres eólicas. É ainda visível uma rápida atenuação dos valores máximos com a distância, a qual é consideravelmente menor para maiores distâncias.

3.3 Análise de frequências

Tendo-se concluído que a intensidade das vibrações no interior da exploração é reduzida, a análise dos conteúdos em frequência dos registos foi naturalmente abreviada. Não obstante esse facto, apresentam-se nas figuras seguintes os traçados das funções de densidade espectral de potência (em aceleração) dos registos colhidos junto das torres (local E) e num local representativo das condições existentes na exploração (local A1).

Local E (base da torre mais próxima)

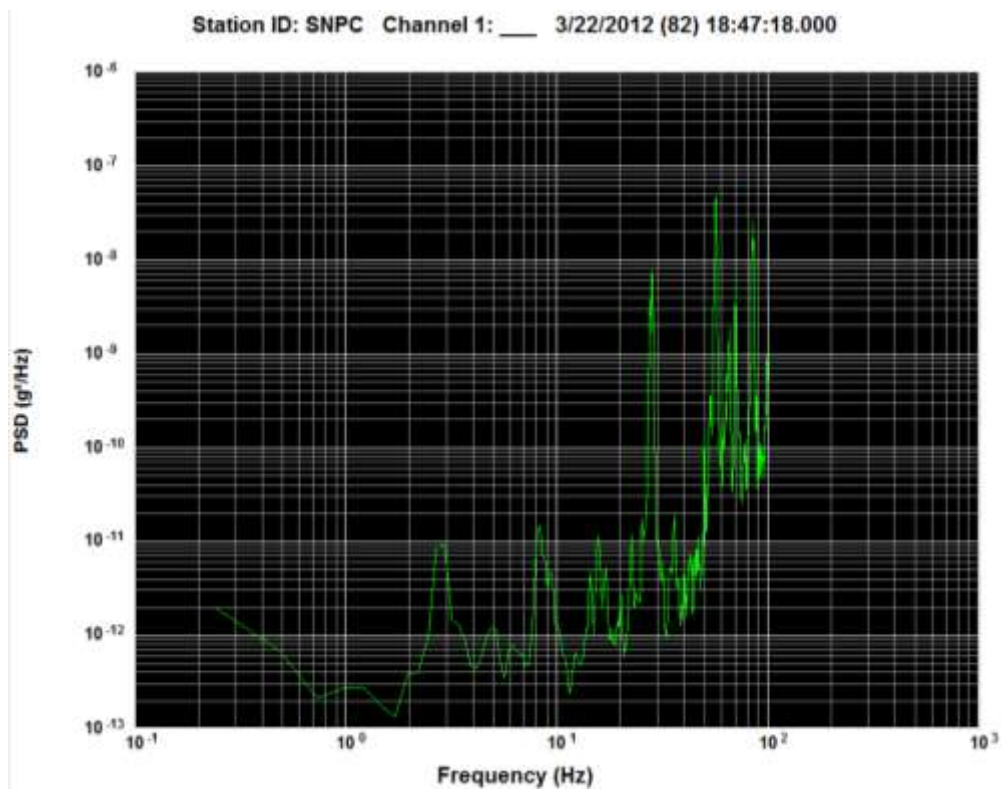


Figura 13: Distribuição em frequência da componente X, diametral, do registo CO002 (local E).

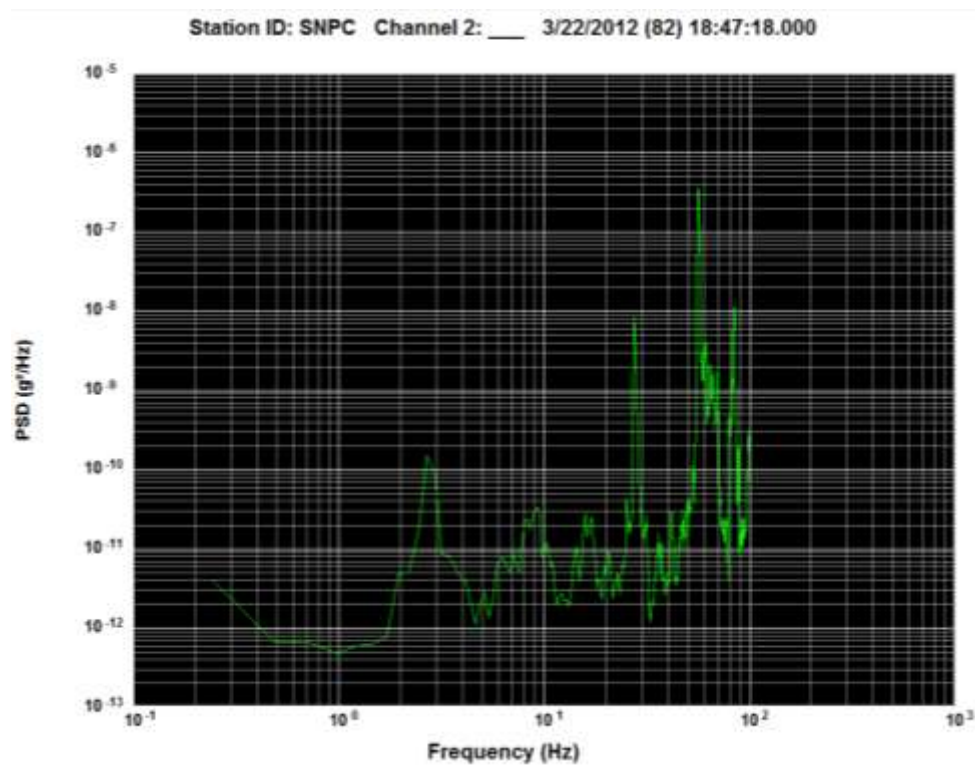


Figura 14: Distribuição em frequência da componente Y, radial, do registo CO002 (local E).

Local A1 (pastagem, cerca de 450m da torre mais próxima)

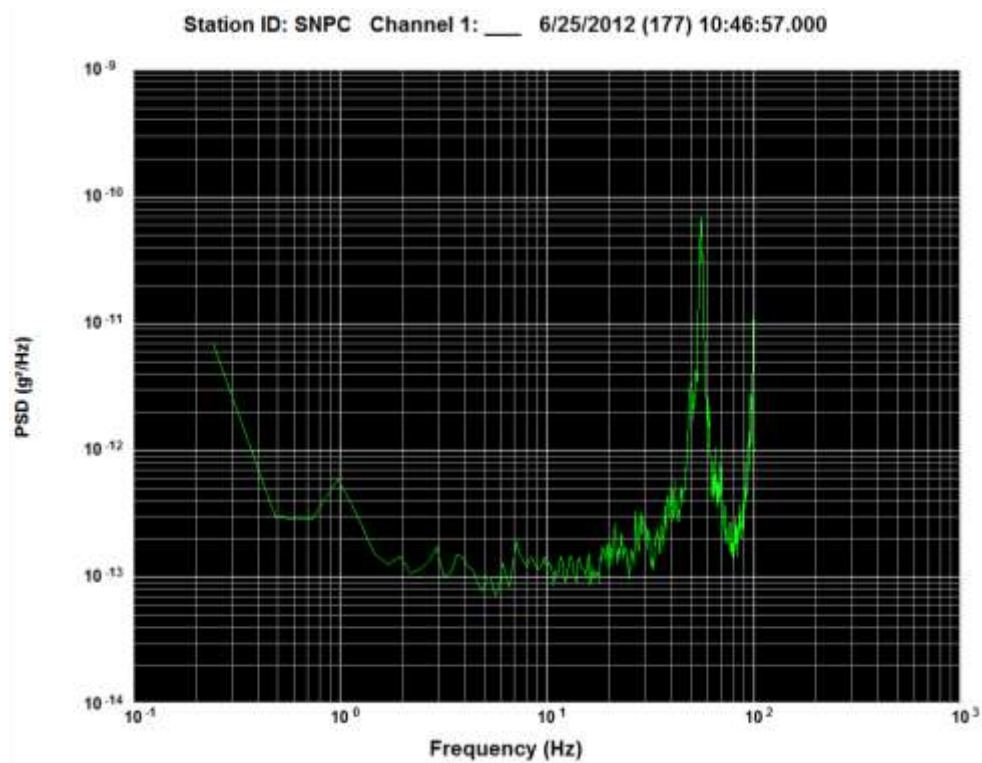


Figura 15: Distribuição em frequência da componente X, diametral, do registro CY005 (local A1).

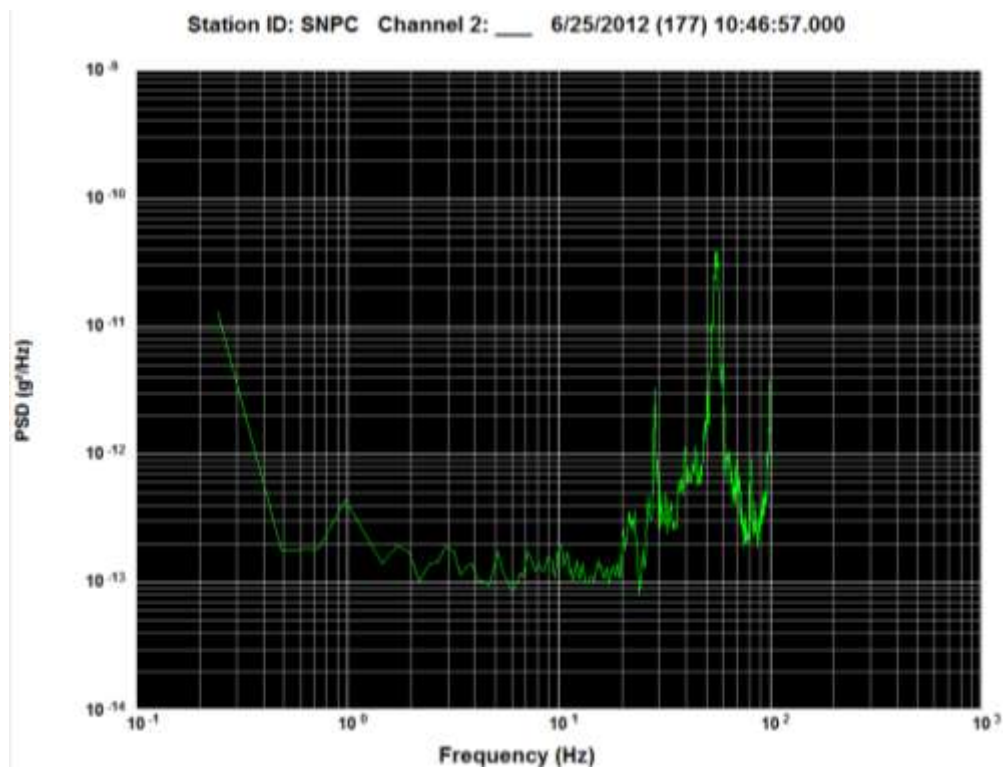


Figura 16: Distribuição em frequência da componente Y, radial, do registro CY005 (local A1).

Da observação das figuras anteriores extraem-se as seguintes conclusões parcelares:

- As vibrações induzidas pelo funcionamento das torres eólicas (movimento das pás e do restante equipamento mecânico existente) apresentam um conteúdo em frequências concentrado nas bandas com frequências médias de 3 Hz, 8 Hz, 15 Hz, 28 Hz e, sobretudo, próximo dos 55 Hz. Admite-se que algumas dessas bandas possam variar com a velocidade de movimentação das pás (que por sua vez estará correlacionada com a velocidade do vento).
- As vibrações existentes no interior da exploração concentram-se na banda de frequências próxima, inferior, aos 30 Hz e, sobretudo (de novo), próximo dos 60 Hz. Possivelmente a concentração em torno dos 30 Hz manifesta-se sobretudo nas componentes radiais (cuja transmissão envolve ondas de compressão no solo).

4. CONCLUSÕES

A análise comparativa dos resultados anteriores parece apontar para o facto da vibração induzida pela operação das torres eólicas se atenuar muito rapidamente com a distância à fonte (comparando os registos obtidos em E com os obtidos em A1 a A3).

Dentro do perímetro da exploração essa atenuação é já bastante menor, de tal forma que na zona mais próxima das torres eólicas não existe uma correlação directa e unívoca com a distância às mesmas torres (comparando os registos obtidos em A1, A2 e A3).

A atenuação com a distância observa-se de uma forma bastante mais mitigada para zonas da exploração mais distantes e para zonas já consideravelmente afastadas da exploração (comparando os registos obtidos em A1, A2 e A3 com os obtidos em D e também em F).

Importa salientar que não foi efectuada qualquer análise da influência da intensidade do vento nas vibrações induzidas, já que essa intensidade era comparável nas duas campanhas de medições efectuadas.

As análises realizadas no domínio da frequência apontam para uma forte atenuação dos movimentos induzidos com frequências mais baixas, abaixo dos 30 Hz, embora persistam, embora muito atenuadas, as gamas de frequências de 30 Hz e próxima dos 50 Hz.

Lisboa, 6 de Julho de 2012

Autores

João Azevedo

Jorge Miguel Proença

Vistos

António Sousa Gago
Coordenador de Núcleo

Jorge de Brito²
Presidente do ICIST

² A assinatura do Presidente do ICIST enquadra-se na obrigação dos Estatutos do ICIST – Cap. III, Art.º 9.3, apenas significando que foi tomado conhecimento da apresentação do presente relatório, uma vez que a responsabilidade pela qualidade científica e ético-profissional é da única responsabilidade dos autores.

CAPITULO I – INTRODUÇÃO

Numa Coudelaria de cavalos Lusitanos, na proximidade de Lisboa, concelho de Torres Vedras, (adiante descrita como Coudelaria), a partir de 2008, foi observado, o desenvolvimento de deformações flexurais adquiridas nos membros torácicos dos equinos. Em todos os poldros nascidos a partir dessa data, observou-se uma marcada hiperflexão da articulação interfalângica distal, ocorrendo a mesma no plano sagital (Figura 1). Em alguns casos, esta lesão foi observada bilateralmente, com um grau de alteração do ângulo flexural variável. A Coudelaria existe desde 2000 e anteriormente a 2008, esta sintomatologia não tinha sido observada em nenhum cavalo, não tendo havido qualquer alteração relativamente à dieta (qualidade e quantidade), às condições de estabulação e ao regime de exercício físico a que os cavalos estavam a ser submetidos. Relativamente à genealogia dos equinos desta Coudelaria também se mantiveram as mesmas linhas genéticas desde o início da mesma e introduziram-se alguns animais de diferentes origens, tanto paterna, como materna que no decorrer de alguns meses também exibiram os mesmos desvios sagitais da extremidade distal dos membros anteriores, tal como os restantes equinos afectados. O aparecimento destas lesões coincidiu com a instalação de turbinas eólicas (TE) de 2 mega-watts que foram implantadas em terrenos contíguos aos da referida Coudelaria, sendo esta a única alteração ambiental que se registou.

O grau de hiperflexão da articulação interfalângica distal observado foi variável entre os poldros. No entanto, alguns perderam a capacidade de apoiar quase a totalidade da sola do casco no solo, apoiando apenas a pinça, comprometendo a sua locomoção de forma muito significativa e, concomitantemente, o seu bem-estar e qualidade de vida.

Associadas ao aparecimento das deformações flexurais surgiram também diversas alterações comportamentais nos cavalos, passando estes mais tempo a dormir durante o dia e apresentando períodos em decúbito mais prolongados.

O objectivo deste estudo consistiu em avaliar as lesões tecidulares presentes nos animais afectados, procurando estimar em que medida as condições ambientais da coudelaria poderão ter interferido na ocorrência da deformação flexural adquirida observada.

Figura 1. Deformação flexural da articulação interfalângica distal num dos poldros afectados na coudelaria.



Figura 2. Fotografias aéreas mostrando a coudelaria e as turbinas eólicas.



Figura 3. Pastagem da Coudelaria mostrando uma das éguas reprodutoras e uma TE próxima.

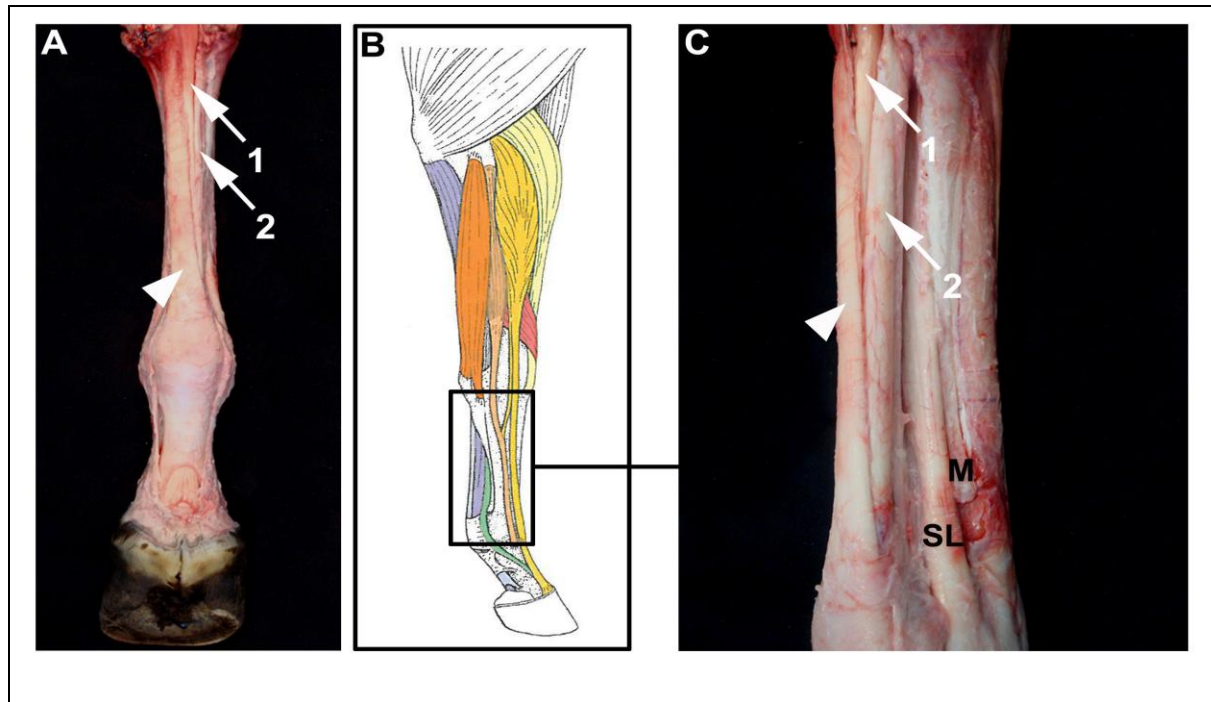


1.1. Deformações flexurais (DF) em poldros

As deformações flexurais (DF) dos membros representam um problema complexo que é discutido com frequência na literatura de medicina veterinária de equinos. Neste tipo de DF verifica-se um desvio no plano sagital do membro, que pode ser expresso pela hiperflexão ou por hiperextensão de uma articulação (Auer, 2006). A hiperflexão é denominada coloquialmente de contracção dos tendões, embora os tendões não estejam de facto contraídos ou alterados; apenas se encontram mais curtos relativamente à estrutura óssea associada. Esta condição verifica-se com maior frequência nos membros torácicos, de expressão geralmente bilateral, apesar de um dos membros estar mais afectado do que o outro, na maioria dos casos (Barr, 2002).

As DF presentes no momento do nascimento são classificadas de congénitas, enquanto as que surgem posteriormente se designam por adquiridas. Estas últimas são consideradas como parte do conjunto de doenças de desenvolvimento ortopédico (DDO), em que também se incluem as deformações angulares dos membros, osteocondrose, epifisite e malformações vertebrais cervicais (Bramlage, 1987).

Figura 4. Extremidade distal de um membro torácico de equino. **A.** Aspetto palmar. **B.** Imagem esquemática, vista lateral (Adaptada de *Anatomia de los Animales Domésticos*; König HE, Liebich HG, 2001) **C.** Aspetto Lateral. **Cabeça de seta.** Tendão digital flexor superficial. **1.** Tendão digital flexor profundo. **2.** Ligamento acessório do tendão digital flexor profundo. **M.** IV metacarpiano. **SL.** Ligamento suspensor do boleto.



1.1.1 Etiopatogenia das deformações flexurais adquiridas

A etiopatogenia das DF adquiridas é complexa e multifactorial e várias teorias têm sido propostas para a sua ocorrência. As duas mais prevalentes são, em primeiro lugar, o desfasamento entre o crescimento ósseo e o dos tendões e, em segundo lugar, o encurtamento da unidade músculo-tendinosa em resposta a um estímulo doloroso (Barr, 2002).

Como referido, o rápido crescimento ósseo poderá ser uma das causas responsáveis pelas DF, pois leva a um desencontro entre o crescimento do osso relativamente aos tecidos moles adjacentes – estruturas tendinosas, ligamentosas e músculo-esqueléticas. A taxa de crescimento do osso é determinada geneticamente, mas também pela nutrição e por forças mecânicas aplicadas no osso. A excessiva alimentação dos poldros pode ocorrer quando a progenitora apresenta uma lactação exuberante ou por excesso de suplementação com alimento concentrado. As alterações no crescimento também podem ocorrer quando o consumo de alimento aumenta muito subitamente, especialmente após um período de carência alimentar.

Quando uma deformação flexural se verifica num poldro que ainda se encontra com a progenitora, o nível energético da dieta deste deve ser reduzido e, se necessário, deve proceder-se ao desmame ou diminuir a ração administrada à progenitora. Deverá ser avaliado o equilíbrio dos sais minerais presentes na alimentação, tanto da progenitora como do poldro, especialmente a relação entre o cálcio e o fósforo, visto que vários estudos apontam para a implicação do desequilíbrio dos referidos minerais no surgimento das chamadas doenças do desenvolvimento dos poldros.

Em poldros com mais idade, que estejam a ser suplementados, deverá haver uma redução do concentrado (ração) ao mínimo possível ou retirar completamente a ração e deverão ter a sua alimentação complementada com feno e um suplemento mineral equilibrado e adequado às suas necessidades nutricionais (Barr, 2002).

Tal como referido, existe outra etiopatogenia que pode originar a deformação flexural adquirida que ocorre quando o membro sofre um estímulo doloroso. O equino, em resposta à dor não apoia correctamente o membro no solo. Consequentemente leva a um desuso dos tecidos moles adjacentes ao osso metacarpo e ao encurtamento dos mesmos.

Relativamente à presença de um estímulo doloroso, determinante no curso desta patologia, estão referidas determinadas condições físicas que podem causar dor como por exemplo: abcesso sub-solar, laminite, hematoma da sola do casco devido a exercícios numa superfície demasiado dura, deficiente apoio devido a lesão no membro contra-lateral, epifisite, artrite séptica e osteocondrose. Apesar de a dor poder ser um factor que despoleta o desenvolvimento agudo da deformação flexural adquirida, outros estados de flexão dos tecidos músculo-tendinosos mais permanentes podem ocorrer como, por exemplo, a contractura da face flexora da cápsula articular (Barr, 2002).

O diagnóstico precoce da DF é importante, pois aumenta o sucesso da completa resolução da lesão, mas este poderá ser dificultado se o poldro se encontrar numa pastagem junto à progenitora, especialmente se a articulação lesada for a interfalângica distal, pois a visualização da lesão pode ser difícil. Observações frequentes numa superfície lisa e dura podem ajudar a detectar precocemente este tipo de lesões (Barr, 2002).

1.1.2 Fisiopatogenia das deformações flexurais adquiridas

As deformações flexurais adquiridas da articulação interfalângica distal (DFAAID) ocorrem principalmente em poldros com idades compreendidas entre 1 a 6 meses de idade.

Nesta lesão está envolvido o tendão flexor digital profundo (TFDP), pois este insere-se na superfície solar da terceira falange e é responsável pela hiperflexão da articulação interfalângica distal. Inicialmente, a parede dorsal do casco assume um ângulo mais vertical em relação ao solo e os talões podem perder o contacto com o mesmo, em especial se o início da lesão ocorrer de forma súbita e aguda. Quando o casco assume esta conformação ocorrem duas sequelas. Primeiramente, observa-se um crescimento excessivo dos talões, por falta de desgaste e contacto com o solo, resultando numa aparência “encastelada” do casco, podendo o talão adquirir o mesmo comprimento da pinça (parede dorsal do casco). A segunda sequela verifica-se ao nível da pinça, que suporta grande pressão e sofre desgaste excessivo, o que pode levar a alterações importantes da parede dorsal do casco (Barr, 2002).

As alterações referidas em cima, relativas à conformação do casco, são o resultado da deformação e não a sua causa.

As DFAAID são subdivididas em duas categorias: Grau I e Grau II dependendo da sua gravidade. Nas de Grau I verifica-se que a parede dorsal do casco se apresenta mais vertical, em relação ao solo, mas não ultrapassa a linha perpendicular entre o solo e a parede do casco. Nas de Grau II, a parede dorsal do casco ultrapassa a referida linha vertical, relativamente ao solo, tendo assim um prognóstico pior do que as deformações de Grau I. O prognóstico também é mais reservado quanto mais longo é o período de tempo que decorre antes do tratamento (Barr, 2002).

Esta classificação é útil para a descrição da deformação e na formulação do prognóstico, mas não dita necessariamente o método de tratamento a seguir.

Desta forma, o tratamento depende de um conjunto de factores, a saber: grau de alteração do ângulo articular, idade do poldro, articulação afectada e evolução da lesão. O tratamento precoce das DF favorece o prognóstico, especialmente naquelas em que está envolvido algum grau de dor. Se o factor primário que provoca a dor conseguir ser identificado, deverá ser primeiramente tratado (Auer, 2006).

O tratamento médico aplicado é frequentemente limitado à terapêutica sintomática e de analgesia, corte correctivo dos cascos, ferração correctiva, talas com aplicação de ligaduras e exercício controlado. Normalmente apenas se verifica sucesso nestes tratamentos quando a lesão apresenta redução manual aquando da manipulação da articulação no exame físico, ou seja, se é possível repor a mesma numa posição semelhante à conformação de um membro normal ao efectuar a extensão e flexão (mobilização) da referida articulação. A recomendação de prática de exercício durante o tratamento não é consensual. Se a deformação for secundária a uma causa dolorosa então a prática de exercício físico deverá ser controlada e a administração de analgésicos poderá ser benéfica. (Auer, 2006).

O exercício não controlado poderá exacerbar o estímulo doloroso sentido pelo poldro e contribuir para o excesso de apoio no membro contra-lateral. Na DFAAID, em que o poldro, por vezes, apenas apoia todo o seu peso na pinça do casco, há benefício em realizar exercício controlado numa superfície firme, combinado com a administração de analgésicos, que permitem o alongamento do TFDP. Deverá permitir-se ao poldro movimentar-se num cercado de pequenas dimensões para prevenir exercício não controlado (Barr, 2002).

Figura 5. Imagem radiográfica de um dos poldros do grupo de estudo, afectado unilateralmente. A imagem de cima mostra o marcado desvio no plano sagital, enquanto na imagem de baixo se observa o membro correctamente aprumado.

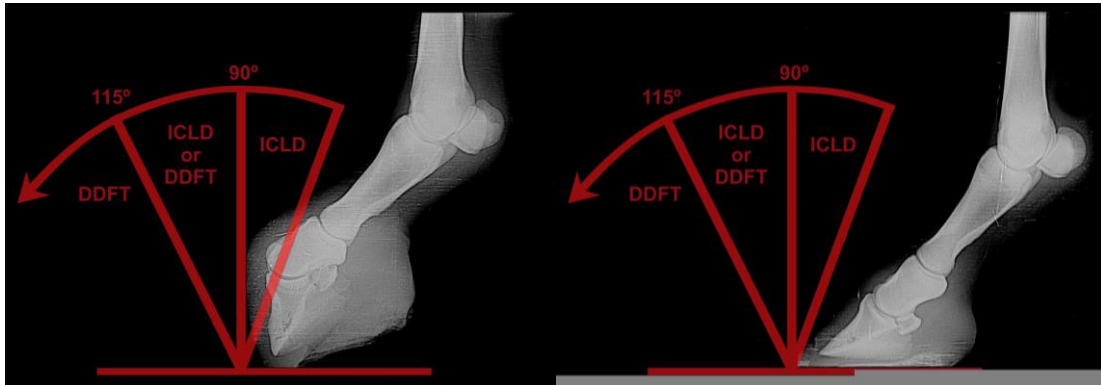
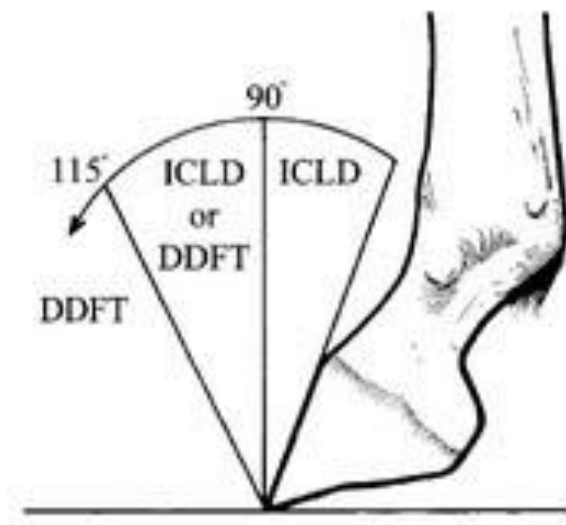


Figura 6. Esquema de avaliação do ângulo entre a parede dorsal do casco e o solo. Parâmetros indicativos para resolução cirúrgica das DFAAID baseados no ângulo entre a parede dorsal do casco e o solo.
ICLD (Inferior check ligament desmotomy) Desmotomia do LATDFP.
DDFT (deep digital flexor tenotomy) Desmotomia do TDFP.

(Management of Congenital and Acquired Flexural Limb Deformities; Stephen B. Adams, DVM, MS and Elizabeth M. Santschi, DVM). 2000.



Se apenas com o tratamento médico não se verificarem melhorias deverá optar-se pelo tratamento cirúrgico. Este deverá ser considerado nos casos mais severos de DF e em casos que não respondem positivamente ao tratamento médico ou conservativo.

O corte de cascos correctivo poderá ter de ser efectuado com o poldro sob anestesia geral. Os tratamentos médicos podem otimizar os resultados cirúrgicos, apesar do prognóstico reservado dos casos que envolvem cirurgia.

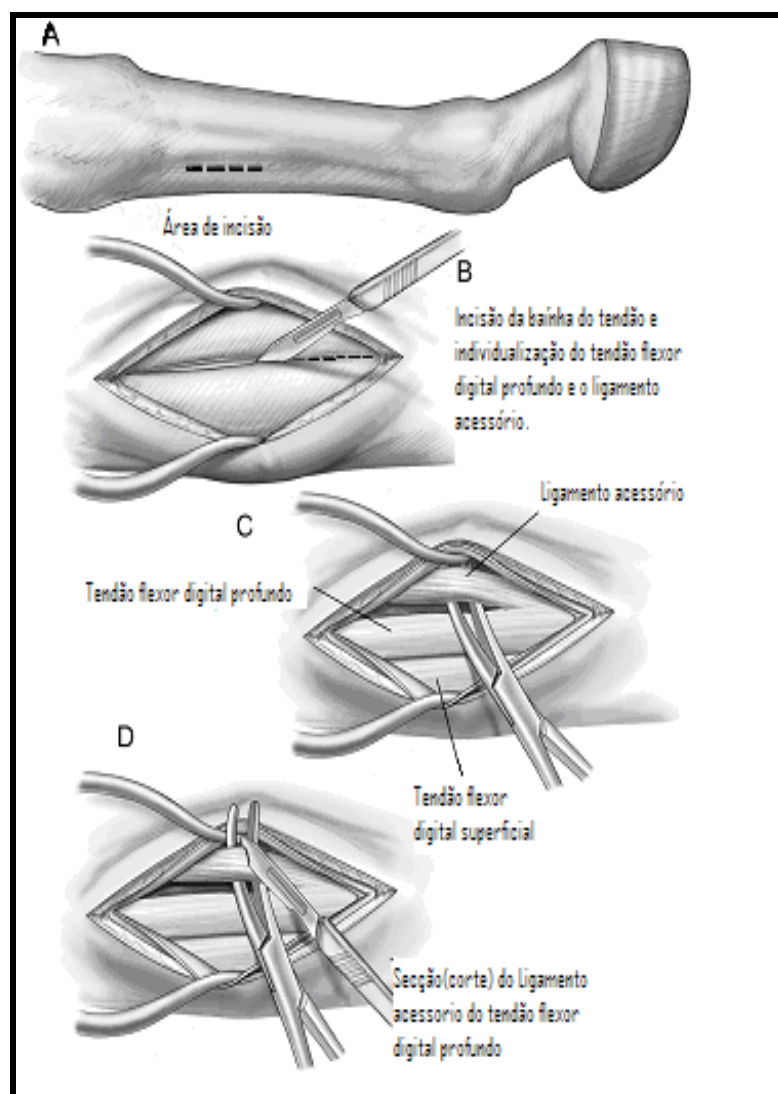
A desmotomia do ligamento acessório do tendão flexor digital profundo (LATFDP) é utilizada como tratamento cirúrgico das DFAAID. A cirurgia é normalmente realizada sob anestesia geral, com o cavalo em decúbito lateral ou dorsal. Nesta altura poderá também ser efectuado o corte correctivo dos cascos e a eventual aplicação de extensões de pinça. O objectivo do corte correctivo será estabelecer um eixo normal entre a quartela e o casco. Uma técnica de desmotomia do LATFDP guiada por exame ultrasonográfico também já foi alvo de descrição em cavalos em estação sujeitos a sedação. O seu autor relatou que nesta técnica cirúrgica ocorreu maior grau de sucesso na restauração da conformação normal do casco nos poldros mais jovens (idade média de 6 meses) comparativamente ao grupo de poldros mais velhos (idade média de 12 meses), apesar da idade na altura do tratamento não ter afectado o resultado cosmético no final da cirurgia (Auer, 2006).

Frequentemente, verifica-se melhoria imediata da DF no pós-operatório, que se confirma nos dias subsequentes. As áreas cirúrgicas são mantidos com penso e ligadura até à remoção das suturas da pele e o exercício, apesar de encorajado, deverá ser limitado (Auer, 2006). Em equinos cuja actividade desportiva é relativamente limitada, e com nível de exigência reduzido, o prognóstico é bom. Num estudo realizado no Reino Unido e publicado em 1980, 86% dos cavalos tratados antes de atingirem 1 ano de idade foram subsequentemente utilizados na actividade desportiva para a qual tinham sido adquiridos. Nos casos dos animais tratados depois de 1 ano de idade houve uma taxa de sucesso um pouco mais reduzida – 78%. Foi reportado por Fackelman (1980), um bom prognóstico na correcção de casos ligeiros, mas má resposta ao tratamento cirúrgico em lesões com maior gravidade. Stick *et al.* (1992), relataram que em poldros Standardbred (trotadores) sujeitos a tratamento cirúrgico estes conseguiram atingir o seu total potencial atlético, mas o prognóstico melhorava consideravelmente nos casos de

poldros tratados o mais cedo possível. Nos poldros cujo tratamento foi aplicado depois dos 8 meses de idade a evolução não foi favorável.

Em DFAAID de Grau II, a técnica cirúrgica utilizada deverá ser a tenotomia do TFDP, tal como em equinos que foram sujeitos a desmotomia do LATFDP e que não apresentaram melhoria com esta técnica cirúrgica. Este procedimento é apenas utilizado para conservação da vida do animal, visto que, em termos funcionais, o prognóstico é extremamente reservado (Auer, 2006).

Figura 7. Representação esquemática da desmotomia do LATFDP. Imagem adaptada (Auer, 2002).



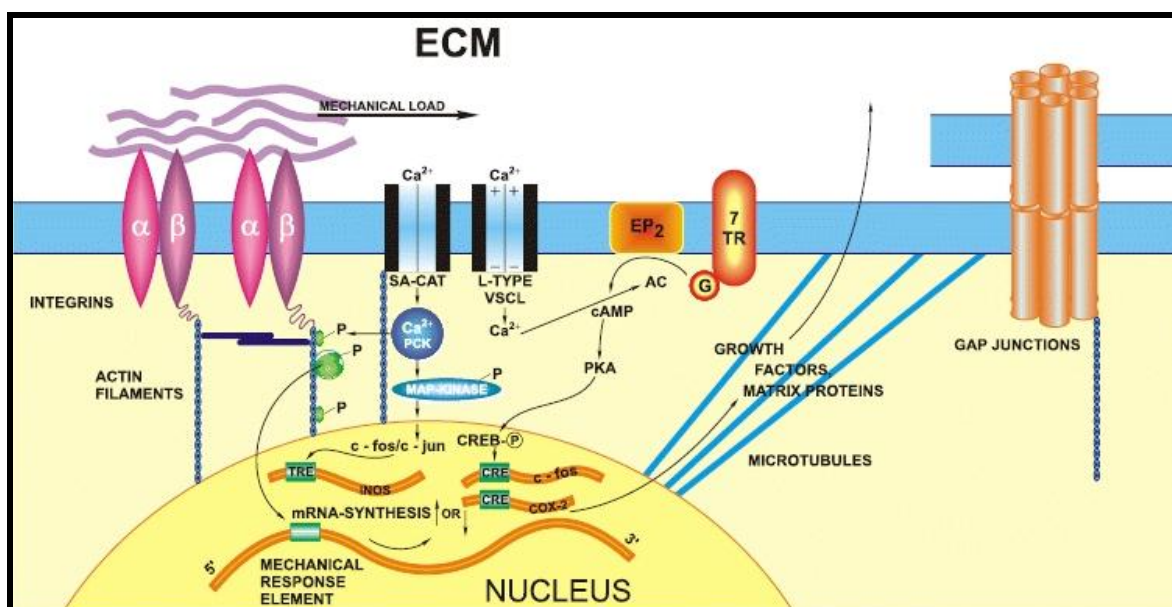
1.2 Mecanotransdução

A mecanotransdução é o processo através do qual as células percebem estímulos mecânicos e os convertem em cascatas de eventos celulares e moleculares que alteram a sua estrutura. Os componentes celulares envolvidos incluem a matriz extra-celular (MEC), o citosqueleto, integrinas, proteínas G, receptores tirosina quinase e os canais de cálcio (Wang, 2005).

De acordo com a Teoria da Tensegridade (Ingber, 1999), as forças exercidas pela MEC sobre a célula estão em equilíbrio com as forças exercidas pela célula sobre esta. Estas forças são transmitidas à célula por via das integrinas, junções celulares e também pela própria MEC. As forças mecânicas aplicadas na superfície celular são transmitidas directamente ao citosqueleto e causam alterações na estrutura do mesmo (Wang & Ingber, 1995). Assim sendo, alterações do citosqueleto devido a aplicação de forças mecânicas podem iniciar um complexo sinal de cascatas de transdução no interior da célula através da activação de integrinas, estimulação de receptores de proteínas G e receptores tirosina quinase (Wang, 2011).

É a actina do citosqueleto que tem um papel determinante na mecanotransdução pois transmite e modula a tensão entre a MEC, locais de adesão focal e integrinas. Subsequentemente, este facto leva a alterações conformacionais nas integrinas, proteínas G e composição de canais iónicos onde as referidas alterações estimulam os receptores de membrana e induzem complexas cascatas bioquímicas (incluindo activação de factores de transcrição), com consequente síntese proteica, expressão genética e diferenciação celular (Wang, 2001).

Figura 8. Modelo das vias envolvidas na mecanotransdução. Abreviaturas: EP2 receptor de prostaglandina 2; 7TR receptor transmembrana 7; cAMP – adenosina monofosfato cíclica; PKA proteína quinase A; PKC proteína quinase C; CRE unidade de resposta; iNOS indutor de síntese de óxido nítrico; COX-2 cicloxigenase 2. Adaptado de “Mechanosensitivity in Cells and Tissues” Kamkin A, Kiseleva I, editors. Moscow: Academia; 2005.



1.2.1 Mecanobiologia dos tendões

Os tendões são responsáveis por transmitir as forças de contração musculares ao osso, permitindo dessa forma a locomoção e ainda promover a estabilidade das articulações. Os tendões suportam elevadas cargas de tração e são vários os fatores que interferem nas forças mecânicas que atuam sobre os mesmos durante a locomoção normal. Cada tendão está sujeito a diferentes tensões, que dependem da magnitude da contração muscular, do alongamento nas suas inserções e do tamanho relativo de cada tendão. A força de cada músculo é dependente da área de corte seccional (especificamente, área de corte seccional fisiológica ou AFCS), do ângulo de penação e comprimento das fibras musculares, segundo a fórmula:

$$\text{Força Muscular} = \text{AFCS} \times \text{Tração específica das fibras}$$

A força muscular produzida é diretamente proporcional à deformação que o tendão correspondente tem de suportar durante a contração (Wang, 2005).

A falta de uso de um tendão, também designada por privação de deformação, devido a imobilização ou desuso, é responsável por alterações degenerativas dos tendões. De facto, o desuso do tendão leva a um marcado decréscimo da elasticidade ou capacidade de deformação, como estudado no tendão patelar de coelhos sujeitos a privação de utilização durante 3 semanas (Yamamoto *et al.*, 1993).

Em resposta às forças mecânicas a que são sujeitos, os tendões conseguem promover alterações do seu metabolismo assim como das suas propriedades mecânicas e estruturais. Por exemplo, em resposta a um treino físico apropriado um tendão aumenta a sua área em corte seccional e fibroblastos aumentam a produção de colagénio tipo I, levando a um aumento da elasticidade deste tecido (Suominen *et al.*, 1980; Michna & Hartmann, 1989; Langberg *et al.*, 2001; Tipton *et al.*, 1975).

No entanto, treino inapropriado leva a lesões e tendinopatias, com aumento de mediadores de inflamação, tais como prostaglandina E2 e leucotrienos B4 (Li e tal., 2004; Wang *et al.*, 2001). A capacidade que os tecidos conjuntivos, tal como os tendões, apresentam para alterar a sua estrutura em resposta a estímulos mecânicos é designada por adaptação mecânica dos tecidos. Esta adaptação é efetuada pelas células. No entanto, os mecanismos de mecanotransdução através dos quais as células percebem as forças mecânicas e as convertem em sinais bioquímicos que, por fim, levam à adaptação fisiológica, ou patológica dos tecidos, ainda não estão completamente esclarecidos, sendo o objecto de estudo da Mecanobiologia os mecanismos moleculares, celulares e tecidulares envolvidos nestes processos (Wang, 2005).

Os fibroblastos específicos dos tendões, são designados por tenoblastos e tenócitos. São os tipos de célula dominantes e os responsáveis pelas referidas adaptações mecânicas que um tendão tem capacidade de realizar. Os fibroblastos são os responsáveis pela síntese proteica da matriz extracelular (colagénios, fibronectina e proteoglicanos) tendo também a capacidade de alterar a expressão das mesmas (Banes *et al.*, 1999; Benjamin & Ralphs, 2000; Kjaer, 2004). Existem vários tipos de glicoproteínas presentes na MEC incluindo a tenascina-C e a fibronectina. A tenascina-C contribui para a estabilidade mecânica da MEC através da sua interação com as fibrilhas de colagénio (Elefteriou *et al.*, 2001). O papel da fibronectina está relacionado com a recuperação de lesões, estando a sua síntese

aumentada nos processos de cicatrização (Jozsa *et al.*, 1989a; Williams *et al.*, 1984).

Os processos que levam a estas respostas celulares adaptativas, são do domínio da mecanotransdução.

Do ponto de vista mecânico, a MEC transmite as forças exercidas sobre as células e acumula e dissipa a energia de forças elásticas induzidas. Deformações mecânicas da MEC são transmitidas à actina do citosqueleto e levam a remodelações da mesma (Wang, 2000; Wang *et al.*, 2001). O citosqueleto controla a forma celular, afecta a sua motilidade e é intermediário de várias funções celulares, incluindo a síntese proteica e do ADN (Janmey, 1991). É composto por microfilamentos, microtúbulos e filamentos intermediários e tem um papel determinante na mecanotransdução (Ingber, 1991). Os microfilamentos estão associados a um número elevado de proteínas, formando uma conexão contínua e dinâmica entre praticamente todas as estruturas intra-celulares. O citoesqueleto responde a forças extra-celulares, participa na sinalização transmembranar e proporciona uma rede para a organização ou translocação de moléculas sinalizadoras (Wang, 2011).

1.2.2 Mecanobiologia do tecido ósseo

Os ossos, tal como os tendões, também estão sujeitos a uma variedade de cargas mecânicas aplicadas durante a atividade diária. O cirurgião alemão Julius Wolff em 1892 propôs que, com o objectivo de otimizarem a sua capacidade de carga, os ossos conseguem adaptar a sua massa e estrutura tridimensional às condições de carga a que são sujeitos, sendo este processo dirigido por forças de tensão mecânica. Os osteócitos são as células principais na orquestração desta regulação biomecânica da estrutura e massa óssea, o que é conseguido através do processo de remodelação óssea. São as células mais abundantes no osso adulto, exibem uma forma dendrítica característica irradiando processos partindo do corpo celular, alojados em canalículos, dispostos em diferentes direcções. Estes processos formam uma rede intercelular através de junções intercelulares que envolvem os osteócitos, as células do periósteo e a medula óssea. Através desta rede tridimensional única, os osteócitos estão anatomicamente colocados numa posição primordial não só para percepcionarem as deformações originadas pelas tensões imprimidas ao osso, mas também para produzirem uma resposta e a transmitirem

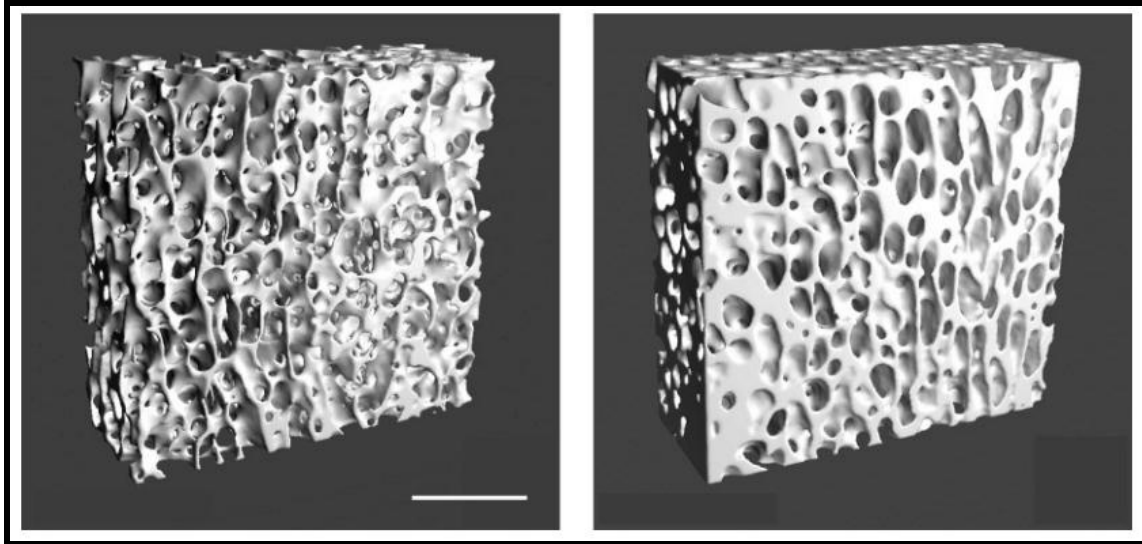
às células vizinhas através da comunicação de sinais celulares (J. Klein-Nulend *et al.*, 2009).

Actualmente, é conhecido que quando os ossos são sujeitos a cargas, a deformação resultante irá fazer com que a fina camada de líquido intersticial que rodeia a rede de osteócitos descrita atrás, flua de regiões do osso sob grande pressão para regiões do osso sob pouca pressão. É esta movimentação de líquido que é “sentida” pelos osteócitos e que despoleta uma resposta que consiste na produção de moléculas sinalizadoras. Estas regulam a reabsorção óssea, realizada pelos osteoclastos e a formação óssea executada pelos osteoblastos, levando à remodelação óssea mais adequada. Este conceito é designado por “Hipótese do Movimento do Líquido”. (J. Klein-Nulend *et al.*, 2009).

Contudo, Vatsa *et al.* 2008, propuseram que os osteócitos poderiam percepcionar tensões da matriz óssea directamente e que, nesse sentido, a forma celular, o alinhamento do citosqueleto e a distribuição de locais de adesão exibiriam padrões correspondentes aos das tensões que estivessem a ser aplicadas no osso.

Wang *et al.* 2008, desenvolveram um modelo para avaliar como os complexos de adesão de integrinas presentes ao longo dos processos dendríticos dos osteócitos poderiam detetar deformações mecânicas ao nível do tecido mole. Mostrou-se que os referidos processos celulares estão aderentes a projecções canaliculares na própria parede canalicular por via das integrinas $\alpha\beta3$. Segundo este modelo, as referidas integrinas poderão reagir a forças de tensão inferiores a 15 picoNewtons. Tal como observado e relatado para os tendões, também aqui o citosqueleto tem um papel crucial como estrutura sensível e responsável pela resposta a estímulos físicos. O citosqueleto está envolvido em processos como mecanopercepção e determina as propriedades materiais da célula (ex: rigidez) que são as mesmas propriedades materiais dos objectos, e que influenciam o efeito resultante da aplicação de tensões de diferentes valores.

Figura 9. Reconstruções tridimensionais de osso trabecular do fémur distal de ovelhas. Imagem à esquerda: Controlo. Imagem à direita: ovelhas sujeitas a vibrações de baixa magnitude (0.3g) e alta-frequência (30Hz) durante 20min diários durante um ano. Adaptado de Rubin *et al*, 2002



Estudos realizados em ovelhas por Rubin *et al.*, 2001, mostram que os animais que foram sujeitos a 20 minutos diários de vibração mecânica de baixa magnitude (0,3 g) e frequência de 30 Hz (ciclos por segundo) durante um ano melhoram a microarquitetura do osso trabecular, sob a influência desse estímulo mecânico. O grande aumento de densidade do osso trabecular resulta numa melhoria da qualidade do osso (Rubin *et al.*, 2002). Estes dados sugerem que parâmetros mecânicos específicos poderão representar uma alternativa não-farmacológica para o tratamento de doenças como a osteoporose (Ward *et al.*, 2004).

Por conseguinte, deformações de muito baixa intensidade (Menores que 10 $\mu\epsilon$, sendo que as deformações observadas durante a locomoção normal são entre 500 e 4000 $\mu\epsilon$) mas alta-frequência (10-100 Hz) podem estimular o crescimento ósseo e inibir a osteoporose por desuso. Bacabac *et al.* 2008, também demonstraram que a resposta celular às tensões mecânicas está relacionada com as propriedades materiais da célula, o que implica que a resposta das células ósseas às tensões mecânicas esteja relacionada com as propriedades do citosqueleto. Aparentemente osteócitos elásticos requerem menos força mecânica para produzir uma resposta, em relação a células mais rígidas. Este facto indica que diferenças na

mecanosensibilidade entre osteócitos e osteoblastos podem não só estar relacionadas com a elasticidade da célula, mas também poderá ter relação com propriedades específicas da célula, i.e., presença de receptores ou canais de iões na membrana, ou de como as células alteram as suas propriedades materiais em relação à deformação. Contudo, apesar de alguns mecanismos que tornam os osteócitos responsivos a tais estímulos, não estarem completamente elucidados, estes regulam a remodelação óssea ao direcionarem a função de osteoblastos e osteoclastos em resposta a estas condições mecânicas ambientais (intensidade e frequência das tensões).

1.3 Condições ambientais da Coudelaria

Tal como referido no início deste capítulo as DF descritas surgiram em concomitância com a implantação de seis turbinas eólicas (TE) em terrenos contíguos à coudelaria.

As TE, também conhecidas por aerogeradores, têm como função transformar a energia cinética do vento em energia mecânica e consequentemente em energia eléctrica. Uma turbina eólica compõe-se dos seguintes elementos:

- Uma torre, que permite elevar a turbina eólica até ventos mais regulares na camada limite atmosférica.
- Uma nave ou *nacelle* que contém o sistema mecânico.
- Um veio que permite a rotação das pás e transmite a energia mecânica ao gerador eléctrico.
- As pás, que permitem “absorver” a energia cinética do vento.

A sua implantação tem tido um desenvolvimento significativo no nosso país, sendo Portugal o terceiro produtor mundial per capita e o segundo em relação ao PIP (produto interno bruto) (<http://cleantechnica.com/2011/04/11/>).

Cada TE varia em tamanho e em capacidade de produção de energia desde apenas alguns quilowatts até vários mega-watts. Encontramo-las isoladas ou em parques eólicos, sendo que o maior destes em Portugal (Ventominho SA) tem 120 aerogeradores.

Geralmente são instaladas em áreas não residenciais e de baixa densidade populacional, não trazendo assim aparente impacto ambiental.

A Coudelaria estudada neste trabalho, confina com um parque eólico constituído por 9 aerogeradores Repower, modelo MM92 de 2 MW de potência unitária. As TE apresentam um diâmetro rotórico de 92 m e a sua altura é 80 m.

1.3.1 O ruído gerado pelas TE

O ruído e o som, de um ponto de vista estritamente físico, são a mesma grandeza. A diferença encontra-se na qualidade acústica percebida pelos receptores. Esta constatação leva-nos a definir ruído como um som indesejado, sendo que, fisicamente, ambos são ondas de pressão sonora que se propagam num meio elástico (líquido, sólido ou gasoso). O som é detectado pelo ouvido através de um processo mecânico em que as ondas de som são convertidas em vibrações no ouvido e posteriormente em impulsos eléctricos que atingem o cérebro e são por este interpretados. (Goeltzer, 2001).

Neste processo auditivo, a alteração vibratória da pressão sobre a membrana timpânica leva à estimulação dos nervos auditivos, que possuem vários calibres correspondendo à capacidade de captação de diferentes frequências (Kinsler, 1982).

O ruído pode afectar o Homem do ponto de vista físico, psicológico e/ou social, pois pode causar a perda de audição, interferência na comunicação, incómodo, cansaço e reduzir a capacidade de trabalho (Maia, 1992).

A acústica é a ciência que estuda o som e o ruído. Dedica-se também ao estudo da propagação das ondas sonoras em meio gasoso, líquido e sólido e suas interligações com o ser humano. A caracterização do som é feita através da frequência, comprimento de onda e amplitude.

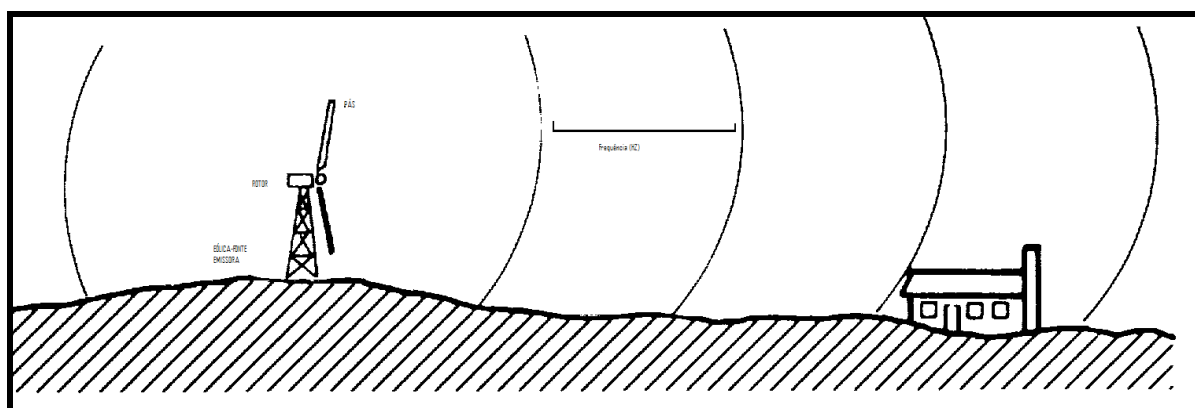
Quanto maior a frequência, mais ciclos de oscilações acontecem ao longo do tempo, designados por período (T). As baixas frequências produzem sons graves contrariamente a frequências altas que produzem sons agudos. Abaixo dos 20 Hz (limite inferior de audição para o Homem) encontram-se os infrassons e acima dos 20 kHz (limite superior da gama audível) os ultrassons (Mateus, 2008).

As frequências do ruído produzido pelas turbinas eólicas variam desde valores baixos que, por vezes, são inaudíveis, até valores elevados que pertencem ao

intervalo de valores audíveis (Kelley *et al.* 1985). Apesar da distância ser benéfica no fenómeno de redução de níveis de ruído, o vento pode aumentar a propagação do ruído em determinadas direcções e impedir a mesma noutras.

Uma característica do ruído produzido pelos aerogeradores é que este é emitido de forma contínua durante o período diurno e nocturno. Em contraste, por exemplo, com ruídos rodoviários ou de aviões que variam marcadamente em função das horas do dia.

Figura 10. Representação esquemática de ondas sonoras emitidas pela TE e sua propagação.



As TE geram som através de dois mecanismos: mecânico e aerodinâmico. O ruído aerodinâmico está relacionado com a geometria do rotor, as suas pás e o meio-ambiente onde a turbina está implantada. O ruído mecânico está associado ao som emitido pelas engrenagens do rotor.

A exposição a ruído de baixa frequência pode causar vibração no corpo humano. A exposição à vibração pode atingir determinados limites de tolerância humana e poderão estar na origem de deficiências fisiológicas e psicológicas (Smith, 2006).

A vibração é uma oscilação mecânica que apresenta variações ao longo do tempo, num sistema mecânico ou biológico em condição de equilíbrio, em que a média do seu movimento tenderá para zero e em que poderão estar presentes movimentos de translação, rotação ou os dois (Brammer, 2004). Em humanos quando estão envolvidas grandes magnitudes, a vibração leva a danos mecânicos que geralmente estão associados a exposição a choques (ex. fracturas, hemorragias, lacerações de tecidos moles). Quando as vibrações ocorrem a magnitudes moderadas poderão existir efeitos fisiológicos levando a dor crónica, especialmente a nível da coluna

vertebral. Em animais (cães e ratos) vibrações intensas de curta duração levaram à morte dos mesmos. As lesões internas observadas *post-mortem* foram consistentes com o choque dos órgãos contra a caixa torácica e também devido ao fenómeno de ressonância do coração e pulmões (Griffin, 1990)

Alguns autores descrevem efeitos fisiológicos e a nível celular provocados pela vibração induzida pelos infrassons e o ruído de baixa frequência (Alves Pereira e Castelo Branco, 2002).

1.3.2 Vibração da TE propagada através do solo

As TE geram vibrações mecânicas. Estas podem ser detectadas por sismógrafos de banda larga enterrados no solo a várias dezenas de quilómetros de distância dos parques eólicos (Styles P. *et al*, 2011).

Os referidos fenómenos físicos que ocorrem no decurso do funcionamento das TE merecem ser objecto de estudo aprofundado, para se conseguir apurar se existe alguma relação entre estes e as deformações flexurais e outras lesões observadas nos poldros da Coudelaria em estudo.

Este projecto visa estudar a possível correlação entre o surgimento das DF por efeitos de fenómenos de mecanotransdução induzidos pelas forças físicas que as TE produzem no meio ambiente onde habitam os equinos.

CAPITULO II – MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Animais

Foram estudados 11 equinos (*Equus caballus*), de raça Lusitana, com idades compreendidas entre os 0 e os 48 meses, pertencentes a uma Coudelaria localizada na proximidade de Lisboa, concelho de Torres Vedras (Tabela 1). Neste grupo de animais, 5 são do sexo feminino e 6 são do sexo masculino. Todos os equinos estudados apresentavam deformações flexurais da articulação interfalângica distal dos membros torácicos.

Para exclusão de possíveis causas genéticas, foram adquiridos pelo proprietário dois animais a outras coudelarias sem historial de deformação flexural. Em 17 de Abril de 2008, foi adquirido o equino “Desplante”, com 15 dias de idade e em 3 de Junho de 2009, o equino “Dondoca”, com idade de 14 meses. À data de entrada na Coudelaria estes dois animais não exibiam qualquer patologia flexural. Contudo, passados alguns meses, ambos desenvolveram a mesma sintomatologia dos restantes poldros afetados.

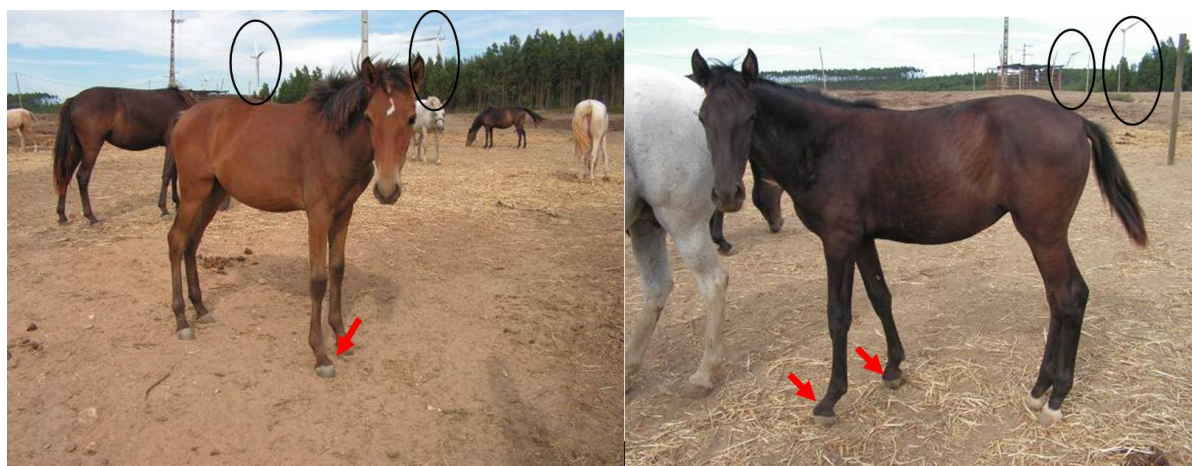
Os equinos “Fundí” e “Faneca”, que também desenvolveram a patologia flexural, foram estabulados nas instalações da Faculdade de Medicina Veterinária a 22 de Outubro de 2010. O equino “Faneca” foi eutanasiado por razões humanitárias no dia 10 de Novembro de 2010. O equino “Fundí” permanece estabulado nas referidas instalações.

Todos os animais foram alimentados com uma dieta comercial adequada para equinos. Não houve alteração relativamente às condições de estabulação e ao regime de exercício físico a que os cavalos da Coudelaria estavam a ser submetidos relativamente ao período que antecedeu o início do aparecimento dos casos de DF.

Tabela 1. Grupo de equinos estudados. N=11

Equinos Estudados						
Nome	Sexo	Data Nasc	Pai	Mãe	Proveniência	Observações
Canela	F	26.02.2007	Operário	Juvita	Nascida na Coudelaria	
Desplante	M	02.04.2008	Importante	Vassoura	Adquirido à Hd das Silveiras	17.04.2008
Dondoca	F	04.04.2008	Urânio	Escalabitana	Adquirido a outro criador	03.06.2009
Espartaco	M	02.05.2009	Zircão	Vassoura	Nascido na Coudelaria	
Engenheiro	M	17.05.2009	Zircão	Zizi	Nascida na Coudelaria	
Furacão	M	05.02.2010	Zircão	Zona	Nascida na Coudelaria	
Fadista	F	12.02.2010	Zircão	Zaza	Nascida na Coudelaria	
Formosa	F	15.02.2010	Zircão	Bambina	Nascida na Coudelaria	
Faneca	F	18.04.2010	Zircão	Juvita	Nascida na Coudelaria	Eutanásia 10.11.2010
Fundi	M	27.04.2010	Zircão	Vassoura	Nascida na Coudelaria	
Flamengo	M	30.05.2010	Zircão	Zizi	Nascida na Coudelaria	

Figura 11. Poldros nascidos em 2011 junto às progenitoras na Coudelaria. As setas vermelhas indicam as articulações afectadas e as elipses a negro a presença de turbinas eólicas



2.2. Exames efectuados

2.2.1. Anamnese

A história clínica dos equinos da coudelaria foi exaustivamente investigada, em particular a nutrição, o exercício físico, o manejo, as condições de estabulação e o estado clínico dos equinos. Observaram-se também os restantes equinos residentes na coudelaria nascidos antes de 2008 e os que permanecem dentro dos estábulos.

2.2.2. Exame clínico

As DF foram avaliadas por meio de um exame ortopédico completo em que se realizou a avaliação do aparelho locomotor (exame estático e exame dinâmico) com recurso a meios de diagnóstico complementares, como por exemplo, exames radiológicos e ultrasonográficos, os resultados dos quais serão descritos mais à frente neste trabalho. O exame do aparelho locomotor foi realizado em duas partes: exame estático e exame dinâmico.

Durante o exame estático os equinos foram observados em estação, sem nenhum tipo de contenção para além de uma cabeçada própria para o efeito, numa superfície plana (Figura 12). Foi avaliada a sua conformação, realizada a palpação dos membros e cascos. A presença de dor no casco foi avaliada por meio de uma pinça de cascos que permitiu a aplicação de força no tecido córneo (Figura 13). Procedeu-se à manipulação (flexão e extensão) das articulações avaliando reações de dor e amplitude de movimento das mesmas.

Na segunda parte do exame do aparelho locomotor – o exame dinâmico, o equino foi observado a caminhar nos seus três andamentos naturais: passo, trote e galope. Em primeiro lugar observou-se cada equino a caminhar numa linha recta, a passo e, de seguida, a trote. Posteriormente, observou-se a locomoção à guia, isto é, cada animal descreveu um círculo com diâmetro variável em que se avaliou e quantificou a claudicação.

Figura 12. Realização do exame estático. O equino está a ser observado numa superfície plana e lisa sem recurso a sedação para ser observada a sua conformação.



Figura 13. Avaliação do casco utilizando a pinça de cascos. Foram consideradas as reacções de dor exibidas pelo animal.



2.2.3. Goniometria. Medição do ângulo entre a parede dorsal do casco e o solo

As extremidades distais dos membros torácicos foram sujeitas a medição com um goniómetro que é o instrumento que permite determinar o ângulo existente entre a parede dorsal do casco e o solo (Figura 14). Com o animal em estação, numa superfície plana, o aparelho de medição foi aplicado no casco para leitura do referido valor angular. Apesar da variabilidade individual de conformação dos cascos no cavalo o valor médio do ângulo para um casco do membro torácico deve situar-se entre os 50 e os 55° graus.

2.2.4. Exames radiológicos

Foram realizados exames radiológicos a todos os animais estudados em que foram avaliadas as extremidades distais dos membros torácicos. Foram efectuadas as seguintes projecções (ou planos): latero-medial e dorso-palmar. Estes exames foram realizados na Coudelaria com uma âmpola geradora de rx portátil, que se descreve abaixo. Para se proceder a este exame não foi necessário tranquilizar farmacologicamente os equinos. O mesmo decorreu numa zona plana e lisa onde se diminui a luminosidade para se conseguir uma boa colocação do foco na zona de interesse. Procedeu-se também à colimação do feixe da radiação para obtenção de uma imagem com maior qualidade e com valor diagnóstico. As cassetes foram colocadas de forma paralela relativamente ao membro e o mais próximo possível deste. O operador colocou a âmpola de forma perpendicular à estrutura a radiografar e procedeu à obtenção da radiografia, tomando para isso todas as precauções de segurança necessárias em relação à radiação, no âmbito das boas práticas de segurança do operador e dos ajudantes presentes no momento do exame.

O equipamento de radiologia utilizado foi o seguinte: Gerador monobloco de alta-frequência: Tubo de RX Toshiba, foco: 2x2mm; com tensão: 40 a 110KV em escalões de 2KV; Escalões de mA: 25, 28, 30, 35, 40, 45, 50, 60mA da marca Samil, modelo TW 116 e um digitalizador de imagem da marca Vetray, modelo CR 35V (Figura 15).

Figura 14. A e B. Goniómetro. Instrumento de medição do ângulo entre a parede dorsal do casco e o solo, tal como exemplificado na figura.

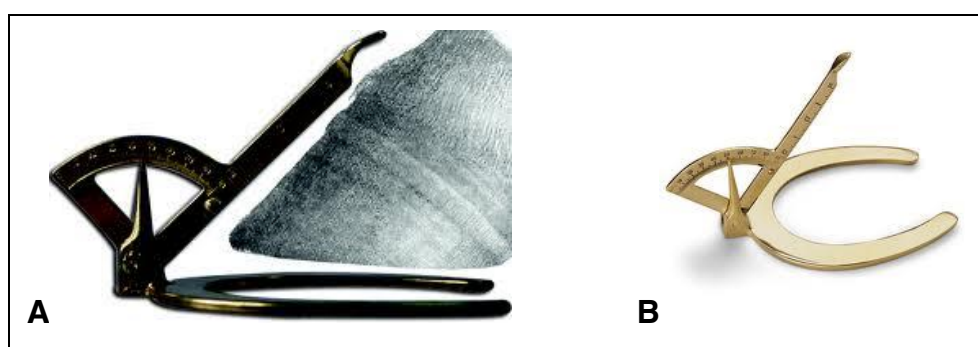
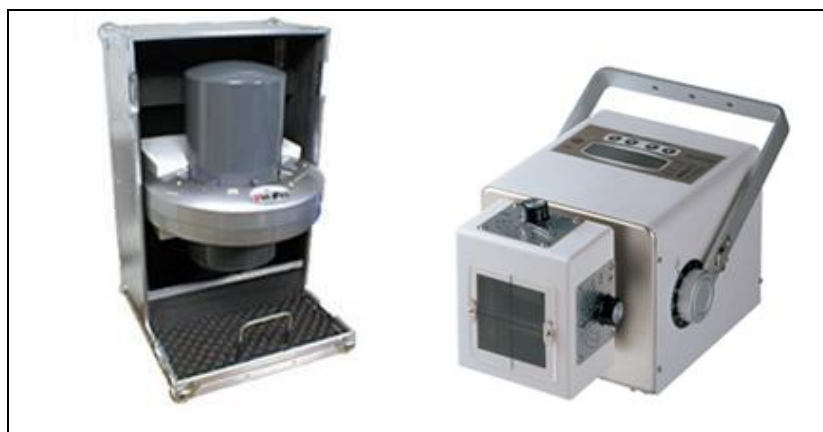


Figura 15. Digitalizador utilizado no processamento das imagens radiográficas e ampola geradora de radiação.



2.2.5. Exames Ecográficos

Foram realizadas ecografias dos tecidos das extremidades distais dos membros torácicos dos animais afectados. Para o referido exame procedeu-se à tricotomia da face palmar do membro na zona entre a articulação do carpo e o início dos talões do casco. De seguida lavou-se com água tépida e sabão, aplicou-se álcool etílico 70° e gel próprio para o efeito, com o objectivo de obter o melhor contato possível entre a sonda do aparelho e a pele do membro do animal, para melhor captação de imagens. Observaram-se ultrasonograficamente os tecidos moles daquela região, com particular ênfase nos tendões flexores digitais (superficial e profundo), no ligamento suspensor do boleto e no ligamento acessório do tendão digital flexor profundo. Durante o exame a sonda foi aplicada no membro perpendicularmente ao eixo longitudinal da extremidade distal do membro e paralelamente a este, de forma a obter imagens em cortes transversais e longitudinais das estruturas estudadas. Foi utilizado um aparelho de ultrasonografia Aquila Vet, com capturação digital de imagem através de uma sonda 7,5 Hz. Cineloop (Tecnologia CRII), com *software* para veterinária, Ref: ESA-97154410853.

2.2.6. Medição do Osso Cortical

Nos animais do grupo de estudo, nascidos nos anos de 2010 e 2011, foi avaliada a espessura do osso cortical, a nível do terceiro metacarpiano, face dorsal e lateral, nos dois membros torácicos, por meio da realização de um exame de ultrasonografia quantitativa. (QUS). Esta é uma técnica não invasiva para avaliar as propriedades do osso cortical.

Através deste método o tempo de propagação das ondas de som é calculado de forma a determinar a velocidade do som e o tempo que as ondas demoram a percorrer o osso e dessa forma saber a sua espessura.

O método foi utilizado no terceiro metacarpo dos equinos para determinar a velocidade do som através do osso, sendo que a velocidade seria máxima quando o córtex era mais fino (Jeffcott and McCartney, 1985). Glade *et al.* em 1986, reportaram que este é um método portátil, reproduzível e simples mas em que a variação do tecido mole poderá levar a algum grau de erro. A velocidade de

transmissão do ultra-som é relativamente precisa ($<1,5\%$) e é influenciada pela densidade e arquitetura óssea (Nicholson *et al.*, 2001).

Para o efeito foram realizadas 3 medições em cada animal, com intervalos de tempo de 2 meses. Para a realização deste exame os animais não foram sujeitos a nenhuma sedação ou tranquilização farmacológica. Foram conduzidos até uma manga ou tronco de contenção existente na Coudelaria, próprio para o efeito, de forma a permanecerem calmos durante o exame, diminuindo assim a probabilidade de se lesionarem e também para segurança dos operadores e equipamento (Figura 16).

A sonda do referido aparelho foi aplicada com pressão firme na porção média do osso metacarpo (aproximadamente 10 a 12 cm distalmente ao carpo).

Foi utilizado um aparelho de ultrasonografia QUS (Sunlight EQUUS, Sunlight Medical, Israel).

Os valores de referência para este estudo foram os determinados para a raça Lusitana por Fradinho *et al*, 2009.

Figura 16. Animais dentro da manga ou tronco de contenção para realização de exames.



2.2.7. Tomografia Axial Computorizada (TAC)

O exame foi realizado *post-mortem*, a partir dos membros removidos na necrópsia de um dos animais, nas instalações do Hospital da Faculdade de Medicina Veterinária.

Durante este exame os membros foram colocados no interior do equipamento numa posição idêntica à que se observaria *in vivo*.

2.2.8. Desmotomia e biópsias do ligamento acessório do tendão flexor digital profundo

A dois poldros foi realizada a desmotomia do ligamento acessório do tendão flexor digital profundo sob anestesia geral, tendo sido colhido tecido tendinoso para análise durante a intervenção. Num dos equinos sujeito a desmotomia, a “Canela”, não foi colhido material visto que à data dessa intervenção, no ano de 2008, não se pressupunha os problemas que se viriam a manifestar em todos os animais nascidos posteriormente, julgando-se assim tratar-se de um caso isolado. Ambas as desmotomias do ligamento acessório do tendão flexor digital profundo foram realizadas na Coudelaria (Figura 18).

Os animais foram sujeitos a 12 horas de jejum anteriormente à intervenção. A tranquilização foi realizada com acepromazina. Na face lateral do membro torácico, na região média do terceiro metacarpiano, procedeu-se à tricotomia e à preparação cirúrgica da área com solução antibacteriana iodada e álcool. Procedeu-se à intervenção cirúrgica utilizando a técnica descrita no Capítulo I, esta foi realizada sob anestesia geral endovenosa com Ketamina (2,2mg/kg) e Diazepan (0,1mg/kg). Durante o procedimento cirúrgico a que o equino “Desplante” foi sujeito, procedeu-se à colheita de tecido para histologia.

Foram realizadas, sutura e penso apropriados nos membros dos animais. Foram administrados, antibiótico de largo espectro (250mg/ml dihidroestreptomicina + 200mg/ml benzilpenicilina procaina na dose de 0,04 ml/Kg uma vez ao dia por via intra-muscular) e anti-inflamatório não esteróide (Fenilbutazona na dose de 2,2mg/kg, uma vez ao dia, por via oral) durante 7 dias.

Três animais foram sujeitos a biópsias do LATDFP E TFDP. Estes foram sujeitos a tranquilização com acepromazina e posterior sedação com detomidina. A biópsia foi realizada na mesma região que a desmotomia acima descrita e com os mesmos cuidados relativamente à preparação da área da intervenção. Com os poldros em estação e depois de se proceder à anestesia local, por infiltração subcutânea, com lidocaína 2%, foram efectuadas as colheitas de tecido para análise histopatológica. Posteriormente a esta intervenção também foram administrados antibiótico de largo espectro e anti-inflamatório não esteróide durante 7 dias (Figura 19).

2.2.9. Análises histopatológicas

O material colhido para biópsia na desmotomia mencionada em 2.2.8 bem como o obtido em necrópsia foi processado segundo as técnicas de rotina em histopatologia.

O equino “Faneca”, foi eutanasiado devido à gravidade da sua condição (Figura 16).

A partir da necrópsia, foram recolhidos fragmentos dos seguintes tecidos e órgãos:

- Pele
- Sistema nervoso central
- Pulmão
- Baço
- Fígado
- Esófago
- Estômago
- Pâncreas
- Intestino Grosso
- Intestino Delgado
- Coração
- Rim
- Bexiga
- Tiróide
- Glândulas adrenais
- Ovário
- Globo ocular
- Tecido muscular liso
- Tecido muscular estriado
- Tendões da extremidade distal do membro torácico (tendão flexor digital profundo e superficial e ligamento suspensor do boleto/III musculo interósseo)
- Foram ainda obtidas, por biópsia, amostras de tecido dos tendões flexor digital profundo e ligamento acessório de cinco poldros (ver na secção seguinte).

Figura 17. Necrópsia do equino “Faneca” na sala de necrópsias da FMV.



Figura 18. Equino “Desplante” submetido a desmotomia do LATFDP sob anestesia geral.



Figura 19. Equino “Engenheiro” submetido a biópsia realizada sob sedação e analgesia local. Na imagem observa-se a incisão da pele na região onde foi realizada a biópsia.



As amostras tecidulares foram colocadas em formol tamponado a 10% em volume superior a dez vezes ao da peça. Após um período mínimo de fixação de 24 horas, o processamento e inclusão em parafina dos tecidos foram efectuados de forma automática, em processador de tecidos LEICA TP 1020® de acordo com o seguinte protocolo:

- A- Álcool etílico 70°, durante 1 hora.
- B- Álcool etílico 95°, durante 1 hora e 30 minutos.
- C- Álcool etílico 95°, durante 1 hora e 30 minutos.
- D- Álcool etílico absoluto, durante 1 hora.
- E- Álcool etílico absoluto, durante 1 hora e 30 minutos.
- F- Álcool etílico absoluto, durante 1 hora e 30 minutos.
- G- Xilol, durante 1 hora.
- H- Xilol, durante 1 hora.
- I- Xilol, durante 1 hora.
- J- Inclusão em Histosec Merck® a 65°C, durante 2 horas.
- L- Inclusão em Histosec Merck® a 65°C, durante 2 horas.

O corte dos blocos de parafina foi realizado em micrótomos rotativos LEICA RM 2135® e de corredeira LEICA SM 2000®, tendo-se efectuado cortes com cerca de 4µm de espessura para os exames histológicos.

A coloração de Hematoxilina e Eritrosina (H&E) foi efectuada a todos os tecidos colhidos. Foram ainda efectuadas as colorações de Van Gieson e Vermelho do Congo segundo os protocolos descritos adiante.

A coloração H&E foi realizada de acordo com o seguinte protocolo:

- A- Xilol, durante 15 minutos.
- B- Álcool etílico absoluto, três passagens.
- C- Álcool etílico 90°, três passagens.
- D- Álcool etílico 70°, três passagens.
- E- Água destilada, lavar bem.
- F- Hematoxilina de Ehrlich, durante 10 minutos.
- G- Água destilada, uma passagem.

- H- Álcool clorídrico 1% (em álcool a 70°), uma passagem.
- I- Água destilada, uma passagem.
- J- Água comum até escurecer, cerca de 2 minutos.
- L- Eritrosina, durante 2 minutos.
- M- Água destilada, uma passagem.
- N- Álcool etílico 70°, três passagens.
- O- Álcool etílico 90°, três passagens.
- P- Álcool etílico absoluto, três passagens.
- Q- Xilol, durante 5 minutos.
- R- Montagem em resina sintética (Entellan®).

A coloração de Van Gieson foi efectuada de acordo com o seguinte protocolo:

- A- Xilol, durante 15 minutos.
- B- Álcool etílico absoluto, três passagens.
- C- Álcool etílico 90°, três passagens.
- D- Álcool etílico 70°, três passagens.
- E- Água destilada, lavar bem.
- F- Hematoxilina de Weigert, durante 10 minutos.
- G- Lavagem em água tépida.
- H- Álcool clorídrico 1% (em álcool a 70°), uma passagem.
- I- Lavagem em água tépida.
- J- Van Gieson, durante 3 minutos.
- L- Água destilada, lavar bem.
- M- Álcool etílico 70°, três passagens.
- N- Álcool etílico 90°, três passagens.
- O- Álcool etílico absoluto, três passagens.
- P- Xilol, durante 5 minutos.
- Q- Montagem em resina sintética (Entellan®).

A coloração de Vermelho do Congo foi efectuada de acordo com o seguinte protocolo:

- A- Xilol, durante 15 minutos.
- B- Álcool etílico absoluto, três passagens.
- C- Álcool etílico 90°, três passagens.

- D- Álcool etílico 70°, três passagens.
- E- Água destilada, lavar bem.
- F- Solução de Vermelho do Congo, durante 5 minutos.
- G- Diferenciar com solução de hidróxido de potássio, durante 3 a 10 segundos.
- H- Lavagem com água destilada.
- I- Hematoxilina de Mayer, durante 3 minutos.
- J- Lavagem com água corrente.
- L- Álcool etílico 70°, três passagens.
- M- Álcool etílico 90°, três passagens.
- N- Álcool etílico absoluto, três passagens.
- O- Xilol, durante 5 minutos.
- P- Montagem em resina sintética (Entellan®).

2.2.10. Medições do ruído

O ruído foi medido na coudelaria, na pastagem onde os animais afectados permanecem diariamente, nos terrenos adjacentes à mesma e no local de implantação de uma das turbinas eólicas.

Foi utilizado um sonómetro Brüel and Kjaer *Pulse* com 4 canais (Modelo 2827-62), um microfone de 1 polegada, de campo livre (Modelo 2570), um pré-amplificador (Modelo PRM902) e um calibrador (Modelo CAL200)

2.2.11 Medições das vibrações do solo

Foram realizados estudos de medição de vibrações mecânicas. Estes foram realizados pelo ICIST/IST (Instituto de Engenharia de Estruturas, Território e Construção, do IST, Universidade Técnica de Lisboa) por solicitação da Faculdade de Medicina Veterinária.

O objectivo das medições realizadas foi caracterizar as vibrações mecânicas induzidas pela operação das torres eólicas em diferentes locais da referida exploração.

A colheita dos registos foi realizada em duas ocasiões distintas: 22 de Março de 2012 e 25 de Junho de 2012.

O procedimento experimental adoptado consistiu na colheita de registos triaxiais¹ de vibração em diferentes locais situados dentro da exploração, assim como em alguns locais situados fora da mesma, mais próximos ou afastados das torres eólicas.

Os aparelhos de medição de vibrações foram instalados sobre o terreno, tendo sido colhidos registos digitais de vibração com durações variáveis, próximas de 1 minuto.

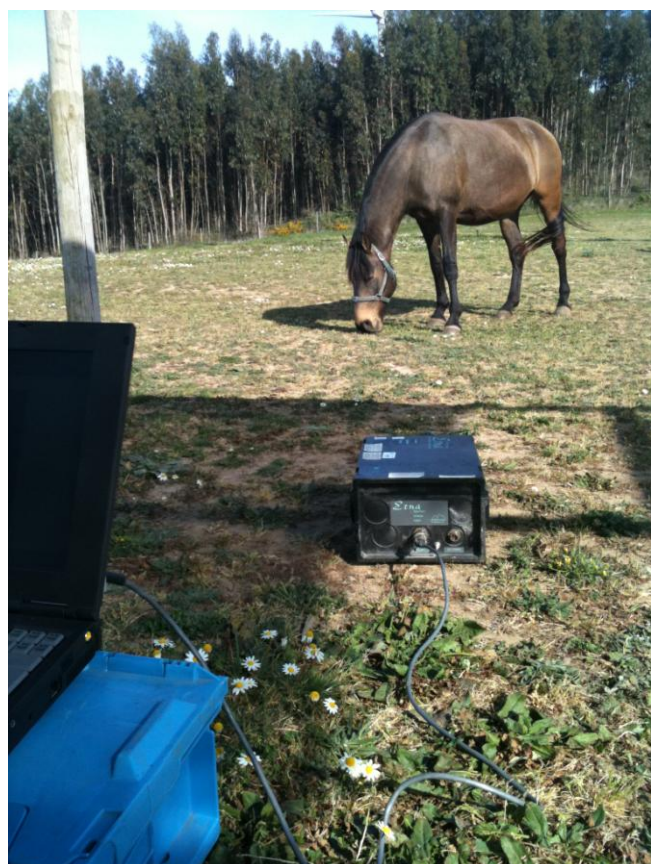
Os registos de vibração foram efectuados com o recurso a unidades triaxiais de registo digital de acelerações da marca Kinematics, modelo ETNA (com sensor interno Episensor), análogas à representada na figura 20. Na primeira data de recolha de dados utilizaram-se três unidades distintas enquanto que na segunda data se utilizou apenas uma unidade. As características mais relevantes da unidade de registo de vibrações utilizada encontram-se sucintamente indicadas na lista seguinte:

- Sensor triaxial Episensor, com as seguintes especificações:
 - gama dinâmica superior a 135 dB
 - largura de banda do sensor de DC até 200 Hz
 - linearidade $< 1000 \mu\text{g}/\text{g}^2$
 - histerese $< 0.1\%$ do *full scale*
 - sensibilidade cruzada inferior a 1% (incluindo desalinhamentos)
 - *full-scale* seleccionável por *hardware* entre 0.25g e 4g
- Unidade de condicionamento de sinal, digitalização e registo com as seguintes especificações:
 - armazenamento dos registos em cartão PCMCIA interno
 - condicionamento e filtragem analógica do sinal, designadamente através de filtragem passa-baixo com corte a 80% da frequência de Nyquist e 120 dB de atenuação na frequência de Nyquist
 - conversão analógico-digital efectuada com resolução de 18 bits
 - armazenamento dos registos em cartão PCMCIA interno.

A unidade utilizada foi configurada com um *full-scale* de 1g, a que corresponde uma resolução em aceleração, após a digitalização, de $0,0008 \text{ cm/s}^2$.

¹ Esses registos individualizam as três componentes cartesianas da aceleração medida num determinado ponto, sendo as direcções X e Y correspondentes às direcções circunferencial e radial (relativamente à torre eólica mais próxima) e a direcção Z a direcção vertical.

Figura 20. Unidades triaxiais de registo de acelerações. No laboratório e na Coudelaria



Capítulo III – RESULTADOS

3.1. Anamnese e exame clínico

A partir do ano de 2008, foi observado o aparecimento de DF nos equinos da Coudelaria. Nesta coudelaria, os equinos são alimentados com uma ração equilibrada adaptada a cada escalão etário, a qual foi considerada nutricionalmente correcta e equilibrada do ponto de vista de minerais e micronutrientes. O manejo geral na Coudelaria foi considerado adequado: Os poldros nascem em pastos vedados e aí permanecem com as progenitoras, até que são separados destas ao desmame que ocorre por volta dos 6 meses. Continuam na pastagem até aos 3 anos, período de tempo em que se inicia o desbaste. Os referidos pastos têm dimensões adequadas ao número de animais, não apresentam declives acentuados e o solo é apropriado para uma pastagem natural de boa qualidade. As fêmeas permanecem na pastagem permanentemente para fins reprodutivos e os equinos do sexo masculino são estabulados em instalações adequadas com ventilação e dimensões correctas do ponto de vista de higiene e bem-estar animal.

Foram investigadas as histórias clínicas e registos de lesões de desenvolvimento ortopédico da coudelaria, bem como dos equinos menos jovens que a habitam e aí nasceram antes da mudança das condições ambientais. Em relação ao historial de alterações observadas na coudelaria, importa relatar que não se verificaram lesões do foro ortopédico semelhantes às descritas neste trabalho, nos anos anteriores à introdução das TE nos terrenos vizinhos. Todos os equinos nascidos antes de 2008 na coudelaria (e que ainda aí permaneciam) foram observados e considerados correctamente aprumados, isto é, não exibiam DF.

Foi verificado o estado vacinal de todos os animais. Todos estavam correctamente imunizados contra Gripe Equina e Tétano. Relativamente à desparasitação, esta também era realizada com a regularidade necessária.

Em relação ao exame físico de estado geral todos os animais apresentavam boa condição corporal, pêlo saudável e brilhante, parâmetros fisiológicos (frequência cardíaca, frequência e sons respiratórios adventícios, sons gastrointestinais, cor das membranas mucosas e tempo de repleção capilar) normais e bom temperamento, mesmo os mais novos. Procedeu-se ao exame ortopédico, i.e., a avaliação do

sistema locomotor que, como referido, foi realizado em duas partes: exame estático e exame dinâmico. Relativamente à conformação observada, todos os equinos do grupo de estudo apresentavam DF dos membros torácicos, de grau variável, que ocorria bilateralmente em alguns animais. O membro torácico exibia marcado desvio no plano sagital. O casco assumia uma forma encastelada, isto é, os talões tornaram-se demasiado longos e mais perpendiculares relativamente ao solo adquirindo uma geometria semelhante a um paralelepípedo – Casco encastelado (Figura 21). A zona dorsal da coroa do casco apresentava-se anormalmente convexa devido à persistência da hiperflexão da articulação interfalângica distal. Em alguns animais verificou-se excessivo desgaste da pinça do casco, consequência da DF.

Figura 21. Poldros do grupo de estudo. Conformação do casco típica desta DF.



Relativamente à palpação e manipulação dos membros, verificou-se que não se conseguia proceder à manipulação (flexão e extensão) da articulação interfalângica distal com a mesma amplitude que nas articulações dos membros que não estavam afectados, principalmente em relação à extensão da referida articulação. No entanto, não se verificaram sinais de dor ao longo do exame, nem mesmo aquando da palpação com a pinça de cascos, excluindo portanto a existência de abcessos ou hematomas sub-solares do casco. Contudo, em alguns animais que exibiam maior desgaste da pinça (consequência da DF), foi verificada alguma sensibilidade ao aplicar pressão com a pinça de cascos.

Nos equinos cujo grau de ensino o permitiu, observou-se a locomoção dos mesmos à guia. Também assim foi evidente a claudicação. Nos equinos que apresentavam a DF bilateral, a sua locomoção estava de tal forma dificultada que mostravam muita relutância em deslocar-se. A incapacidade de se alimentarem e terem acesso ao

bebedouro de forma normal, reduz expressivamente o seu bem-estar e qualidade de vida.

Tal como referido no capítulo anterior, para excluir a possibilidade da DF ter uma causa genética, foram adquiridos dois animais de genealogia diferente da referida coudelaria. Também nestes equinos foi confirmado o diagnóstico de DF.

Outros dois equinos “Fundi” e “Faneca” foram estabulados nas instalações da FMV. O equino “Faneca” foi eutanasiado sendo os resultados relativos à sua necrópsia relatados adiante.

Relativamente ao “Fundi”, equino que permanece estabulado nas instalações da FMV, este apresentou uma melhoria significativa, embora moderada, da DF (Figura 22). À data das imagens apresentadas, não tinha sido sujeito a nenhum tratamento médico ou cirúrgico

Na coudelaria também se procedeu à mudança de local de dois equinos: “Espartaco” e “Engenheiro”. Estes foram para uma pastagem mais afastada da inicial e nestes dois poldros também foram observadas melhorias significativas, sem recorrer a tratamento médico ou cirúrgico.

Figura 22. Equino “Fundí”, permanece nas instalações da FMV e mostrou melhorias significativas, sem ser sujeito (à data da realização desta imagem) a qualquer tipo de tratamento médico ou intervenção cirúrgica.

A - Imagem do equino, junto ao bebedouro, na Coudelaria, em Setembro de 2010.

B, C e D – Imagens obtidas em Maio de 2011. O membro torácico esquerdo mostra melhoria no plano sagital.



3.2. Goniometria. Medição do ângulo entre a parede dorsal do casco e o solo

Todos os equinos do grupo de estudo apresentavam ângulos entre a parede dorsal do casco e o solo, maiores do que o valor normal chegando alguns a ultrapassar os 90° (Figura 23).

3.3. Exames radiológicos

Os exames radiológicos realizados à extremidade distal dos membros torácicos, revelaram que as falanges apresentavam um marcado desvio no plano sagital, com sub-luxação da articulação interfalângica distal. Observou-se ainda remodelação óssea e lesões degenerativas da terceira falange e da articulação interfalângica distal (Figura 24).

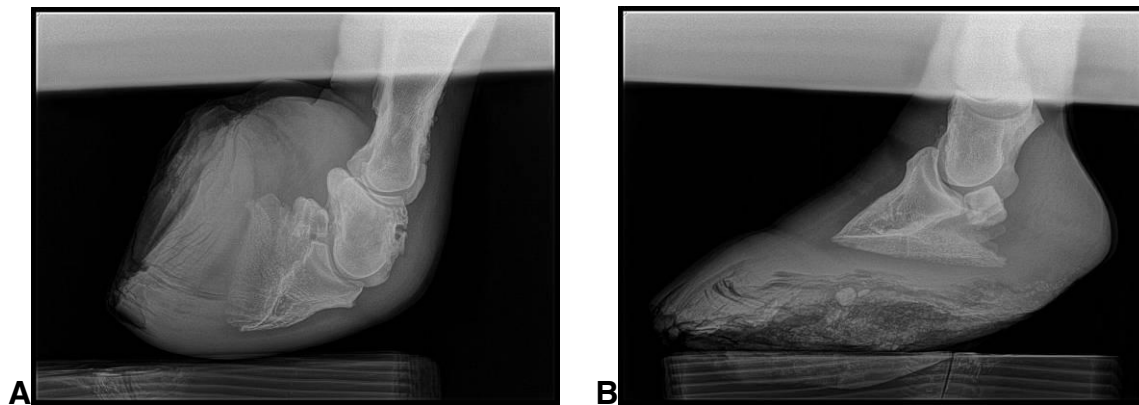
3.4. Exames Ecográficos

Os exames ecográficos realizados não revelaram alterações quer a nível da disposição das fibras tendinosas, quer relativamente à área de secção em corte transversal dos tendões e ligamentos examinados. Não foram encontradas alterações patológicas em nenhum dos cortes (transversais e longitudinais) realizados ao longo do referido exame.

Figura 23. Ângulo entre a parede do casco e o solo em poldros afectados.



Figura 24. A e B. Imagem radiológica do equino “Fundi” que permanece estabulado nas instalações da FMV. Na imagem A o membro torácico direito apresenta DF em estado avançado, não sendo possível o apoio da sola do casco no chão. Apresenta ainda sub-luxação da articulação interfalângica distal, remodelação óssea e deformação da falange distal e na falange proximal. A segunda falange apresenta um quisto dorsal. Em B, membro torácico esquerdo que apresenta sola do casco excessivamente espessa devido à falta de desgaste resultante da dificuldade na locomoção deste equino e sub-luxação da articulação interfalângica distal.



3.5. Medição do Osso Cortical

A medição do osso cortical por ultrasonografia quantitativa é um método não invasivo para determinar as propriedades superficiais do osso cortical, podendo os resultados obtidos ser consultados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores da Velocidade do Som (VDS, m/s) obtidos nas várias medições do MCIII

Medições com QUS										
Data	M. Torácico	Isabel	Palomina	Castanha	Fundi	Espartaco	Engenheiro	Gcastanha	Gpalomia	Gcastanhall
Janeiro	Direito dorsal	4188	3960	4016	3908					
Janeiro	Direito lateral	4228	4401	4031	3980					
Janeiro	Esquerdo dorsal	4033	4118	4292	4219					
Janeiro	Esquerdo lateral	4322	4425	4366	4157					
Março	Direito dorsal	3966	4003	3994	3954	3870	4103	3931	3710	
Março	Direito lateral	4220	4258	4223	4370	4020	4443	3891	3729	
Março	Esquerdo dorsal	4107	4117	4105	3960	3697	4138	3786	3818	
Março	Esquerdo lateral	4264	4132	4285	4279	3995	4329	4033	3673	
Julho	Direito dorsal	3861	3797	4013		3999	3888	3966	3952	4145
Julho	Direito lateral	4158	3997	4262		4279	4159	4089	4085	4088
Julho	Esquerdo dorsal	4009	3705	4442		4177	3847	3975	3997	3886
Julho	Esquerdo lateral	4279	4076	3918		4005	4187	4178	4217	4170

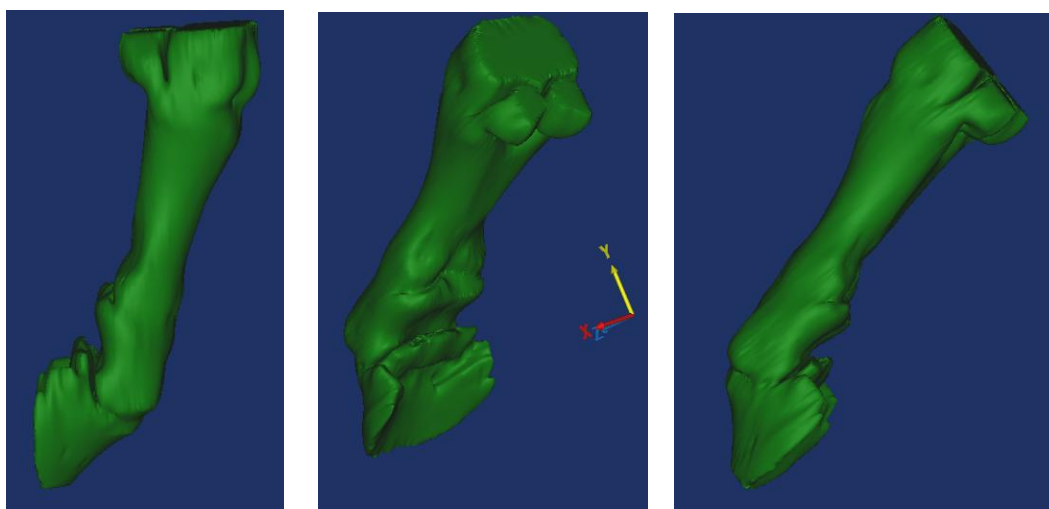
Tabela 3. Média aritmética dos valores da velocidade do som (VDS, m/s) obtidos nas várias medições do MCIII nos aspectos dorsais e laterais medidos nos 3 diferentes grupos etários.

Data de Nascimento	2009	2010	2011
Aspecto Dorsal	3965	4029	3933
Aspecto Lateral	4177	4203	4034

3.6. Tomografia Axial Computorizada (TAC)

O exame de Tomografia Axial Computorizada realizado no equino “Faneca”, que foi eutanasiado nas Instalações da FMV, confirma a marcada deformação flexural da articulação interfalângica distal (Figura 25).

Figura 25. Modelo tridimensional realizado através do programa *Mimics*, utilizando as imagens da TAC efectuada ao equino “Faneca”. De notar a significativa falta de alinhamento frontal das três falanges.



3.7. Desmotomia e biópsias do ligamento acessório do tendão flexor digital profundo

Realizou-se tal como descrito anteriormente a desmotomia do ligamento acessório do tendão flexor digital profundo nos equinos “Canela” e “Desplante”.

Ambas as cirurgias decorreram de acordo com o previsto e os animais recuperaram a conformação correcta dos membros, logo após a cirurgia. O equino “Canela” depois da cirurgia e respectiva recuperação permaneceu no campo, visto tratar-se de uma égua que seria utilizada como reprodutora. Verificou-se uma recidiva da DF, não tão expressiva como a inicial, passados alguns meses.

Em relação ao equino “Desplante” após a cirurgia permaneceu estabulado e recuperou sem incidência de recidiva.

No mesmo dia da referida desmotomia ao equino “Desplante”, foi realizada, ao equino “Dondoca”, uma biópsia aos tecidos tendinosos da região anatómica

correspondente à desmotomia. Esta poldra foi adquirida pelo proprietário da coudelaria a um outro criador de cavalos Lusitanos tendo sido obtida como animal de controlo e ficou a viver na pastagem com os outros animais existentes. Passados 9 meses foi possível diagnosticar nesta égua uma alteração da conformação do casco revelando o começo da DF.

Foram ainda efectuadas duas outras biópsias a dois equinos (“Espartaco” e “Engenheiro”) nascidos em 2009, que desenvolveram DF muito evidente. Foram realizadas apenas com sedação dos animais e anestesia local. Contudo, como referido acima neste capítulo, estes dois equinos foram colocados numa pastagem diferente daquela onde tinham anteriormente permanecido e apresentaram melhorias significativas em relação ao grau de DF observado clinicamente.

A necrópsia de um dos equinos, “Faneca”, realizada na FMV, também levou à colheita de várias amostras de tecido e os resultados dessas análises histológicas são descritos no ponto abaixo.

Tabela 4 - Resultados dos equinos do grupo de estudo.

Nome	Ano nascimento	Procedimento realizado	Resultados	Observações
Canela	2008	Desmotomia do LATFDP	Melhoria da conformação pós-cirurgia.	Permaneceu no pasto. Recidiva da DF.
Desplante	2009	Desmotomia do LATFDP	Melhoria da conformação pós-cirurgia.	Recuperação e permanência em estábulo. Não recidivou.
Dondoca	2010	Biópsia	Animal de controlo. Desenvolveu DF em grau ligeiro.	Permanece no pasto da coudelaria
Engenheiro	2010	Biópsia	Apresentou melhorias em relação à DF	Permanece no pasto da coudelaria
Espartaco	2010	Biópsia	Apresentou melhorias em relação à DF	Permanece no pasto da coudelaria
Faneca	2011	Necrópsia		
Fundi	2011	Estabulado na FMV	Apresentou melhorias em relação à DF	Permanece na FMV
Fadista	2011	Nenhum	Apresenta DF.	Permanece no pasto da coudelaria
Formosa	2011	Nenhum	Apresenta DF.	Permanece no pasto da coudelaria
Furacão	2011	Nenhum		Sofreu acidente que exigiu eutanásia
Flamengo	2011	Nenhum	Apresenta DF.	Permanece no pasto da coudelaria

3.8. Análises anatomohistopatológicas

Foi realizada pelo Departamento de Anatomia Patológica da Faculdade de Medicina Veterinária a necrópsia de um dos equinos – “Faneca”, no dia 10 de Novembro de 2010.

Relativamente às lesões macroscópicas, para além da DF evidente nos dois membros torácicos, observou-se alguma irregularidade do pavimento da cavidade bucal na base da língua; nódulos com 2 a 3 mm na mucosa da laringe; congestão discreta das cartilagens da laringe e líquido sero-sanguinolento no saco do pericárdio (cerca de 5ml).

Em relação às lesões microscópicas observou-se hipertrofia e vacuolização das células da região fascicular do córtex da adrenal, sendo patentes alguns casos dispersos de formação de vacúolo único. As células da zona mais externa da camada fascicular surgiam levemente atrofiadas, com grau discreto de desagregação.

Ao nível do rim verificou-se presença ocasional de cilindros celulares e hialinos no lume dos tubos renais e hiperplasia do epitélio de revestimento do bacinete. Na

base da língua encontrou-se um desenvolvimento exuberante, mas dentro de padrões da normalidade, do tecido linfoide.

No miocárdio as fibrilhas intracelulares das células do tecido cardio-necto surgiram dispersas por todo o citoplasma, sem alteração significativa das fibras musculares propriamente ditas

Ao nível do pulmão encontrou-se muco em grande quantidade no lume dos grandes brônquios, por vezes, preenchendo-o por completo. Os pequenos brônquios surgiram colapsados, contendo igualmente material mucinoso no lume. A coloração de PAS para mucopolissacarídeos revelou irregularidade na distribuição das células caliciformes, com bronquíolos praticamente desprovidos destes elementos. O tecido intersticial envolvendo os vasos apresentou desorganização das fibras de colagénio que surgiram separadas por matriz hialina. A coloração de Van Gieson para colagénio confirmou alguma desorganização da adventícia dos vasos menos calibrosos. Os alvéolos apresentaram-se moderadamente colapsados, sem conteúdo.

Na mucosa da traqueia observaram-se células caliciformes muito volumosas e esparsas.

O esófago apresentou uma eventual rotura na parede muscular com hemorragia e edema. O estômago não revelou alterações estruturais dignas de registo, sendo que a mucosa surgiu recoberta por material rico em mucinas.

No útero observou-se ausência total de glândulas e espessamento de tecido fibroso do endométrio.

Nos ovários observou-se folículos em desenvolvimento, contendo fina camada granulosa. Todo o estroma estava invadido por células macrofágicas contendo pigmento coróide, que foi confirmado com a coloração Negro do Sudão.

O duodeno apresentou discreta inflamação inflamatória da lâmina própria, formada por células mononucleadas, considerada dentro dos padrões normais. Identificou-se discreto edema intersticial da camada muscular externa. No jejuno verificou-se edema intracelular da parede muscular externa, cuja gravidade não era homogênea em todo o seu contorno. A camada interna surgiu igualmente alterada embora de forma mais discreta, com distorção da disposição celular. A mucosa apresentou o mesmo padrão de infiltração que se observou no duodeno.

No cólon, a camada muscular externa surgiu mais fina que o normal, com atrofia celular e edema intercelular. Na mucosa identificou-se infiltração por eosinófilos. Os

linfonodos mesentéricos mostraram infiltração dispersa também por eosinófilos. A exuberância do tecido linfóide foi alvo de registo embora possa dever-se à idade jovem do equino.

Verificou-se edema interfibrillar das trabéculas fibrosas do baço, embora de forma discreta.

No fígado, o citoplasma dos hepatócitos surgiu granuloso, com presença ocasional de vacúolos intracelulares de pequena dimensão.

A tiróide mostrou folículos repletos de colóide nas duas glândulas.

O pâncreas, a parótida e a hipófise não revelaram alterações significativas.

Ao nível da bexiga identificou-se edema intercelular e intracelular nos feixes longitudinais da muscular própria, também patente sob a forma de pequenos vacúolos nos feixes cortados transversalmente.

No cérebro, registaram-se imagens de satelismo em torno de diversos neurónios do córtex. Em algumas zonas, identificaram-se numerosos astrócitos hipertrofiados.

Nos neurónios dos gânglios basais identificou-se também imagens de satelismo.

Relativamente ao cerebelo identificou-se ocasionalmente células de Purkinje de contorno anguloso e eosinófilas e discreta hipomielinização da substância branca.

O tronco cerebral mostrou dilatação das fibras mielinizadas, sugerindo perda de mielina nos feixes periféricos.

A faringe (incluindo o pós-boca) e a laringe apresentaram um desenvolvimento exuberante de folículos linfóides subepiteliais, os quais podem corresponder a situação de normalidade, em especial em animais deste escalão etário. A glote apresentou o mesmo tipo de folículos subepiteliais.

Relativamente ao músculo estriado, os cortes efectuados, em especial os longitudinais, exibiram dissociação das miofibrilhas, embora com manutenção de estriação transversal. Em corte transversal a dissociação foi também evidente.

Em relação aos tendões e ligamentos, na porção proximal dos tendões flexores da região do metacarpo, o tecido tendinoso apresentou morfologia compatível com situação normal. Contudo, foi visível a alteração da parede de alguns vasos, que se traduziu por espessamento anormal da íntima e subíntima, chegando a verificar-se o bloqueio quase total do lume, ou aparente dissociação das fibras musculares da média, entre as quais se dispõem fibras de colagénio. Os tecidos moles envolventes dos tendões exibiram intensa vascularização por pequenos vasos capilariformes, por vezes dispostos em rosário contínuo. A estrutura do flexor profundo pareceu

particularmente bem preservada; contudo, um dos vasos da periferia, com perfil de artéria, apresenta dissociação das fibras da média. Na zona intermédia dos ligamentos e tendões do carpo não se identificaram alterações significativas nos tecidos constituintes. Contudo, a veia apresentou escassez de fibras musculares na sua parede. No tendão flexor superficial não se observou alteração significativa. Na porção distal dos tendões e ligamentos também não se observaram lesões significativas. Também aqui foi igualmente possível identificar veias de parede aparentemente empobrecida em fibras musculares.

Em relação às amostras de tecido tendinoso colhidas de dois equinos nascidos em 2010, “Espartaco” e “Engenheiro”, estas não revelaram alterações significativas, para além de focos de hemorragia nos tecidos moles envolventes, sendo que não se verificaram alterações compatíveis com o curso de patologia tendinosa.

Figura 26. Todas as fotografias mostram edema intracelular e dissociação das fibras musculares lisas da parede intestinal. H&E, x40

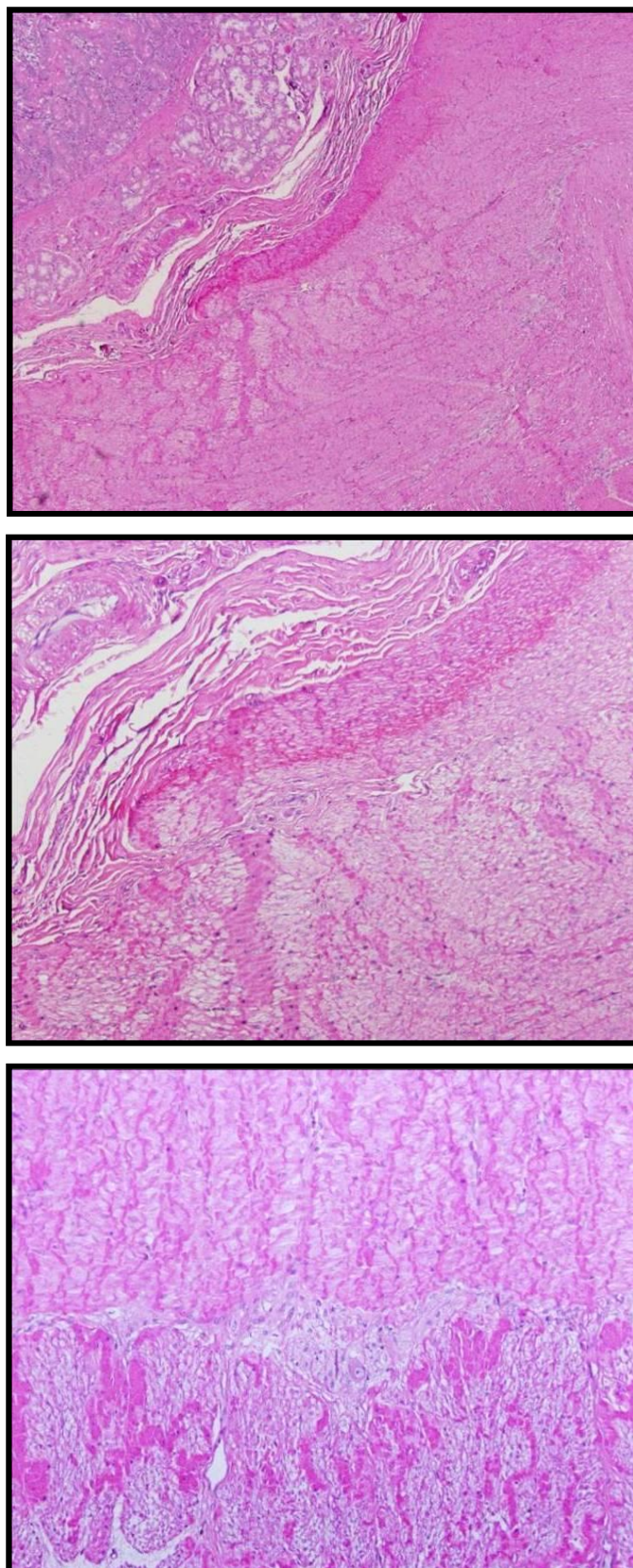


Figura 27. Dissociação das fibras musculares esqueléticas. H&E, x400

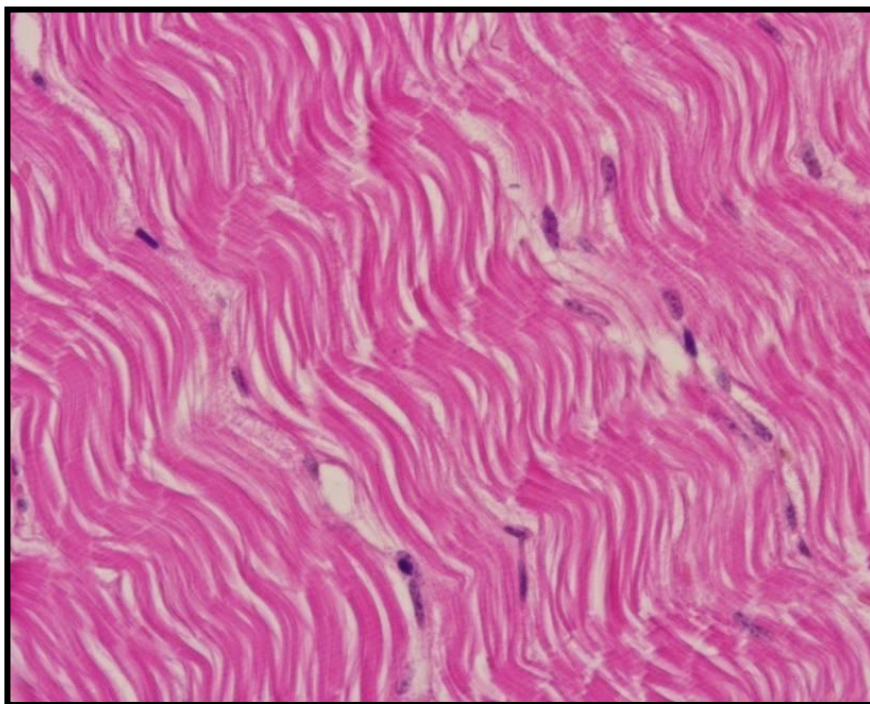


Figura 28. Tecido cardionector apresentando as fibras distribuídas de forma aleatória. H&E, x400

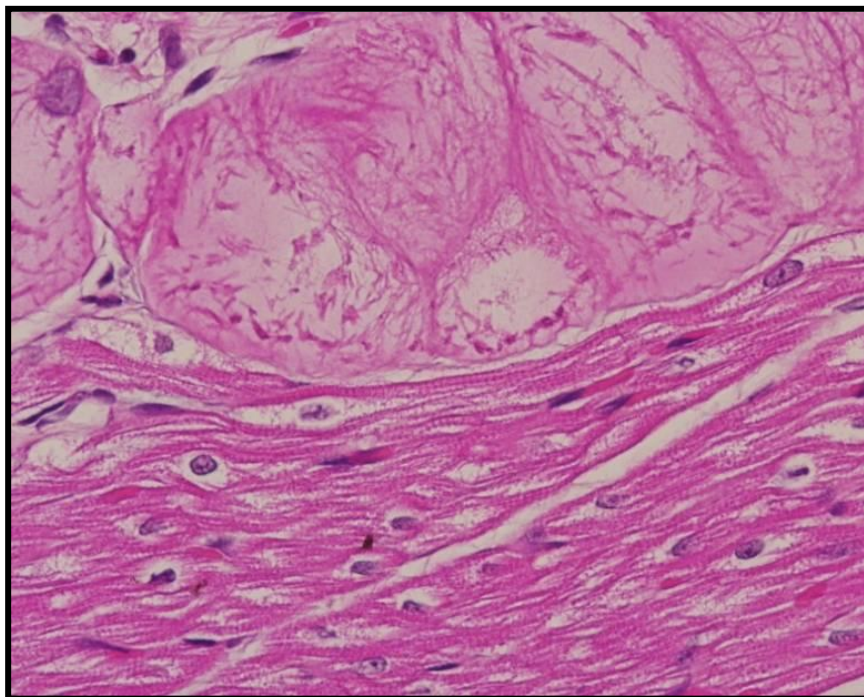


Figura 29. Edema intercelular das fibras musculares lisas da bexiga. H&E, x400

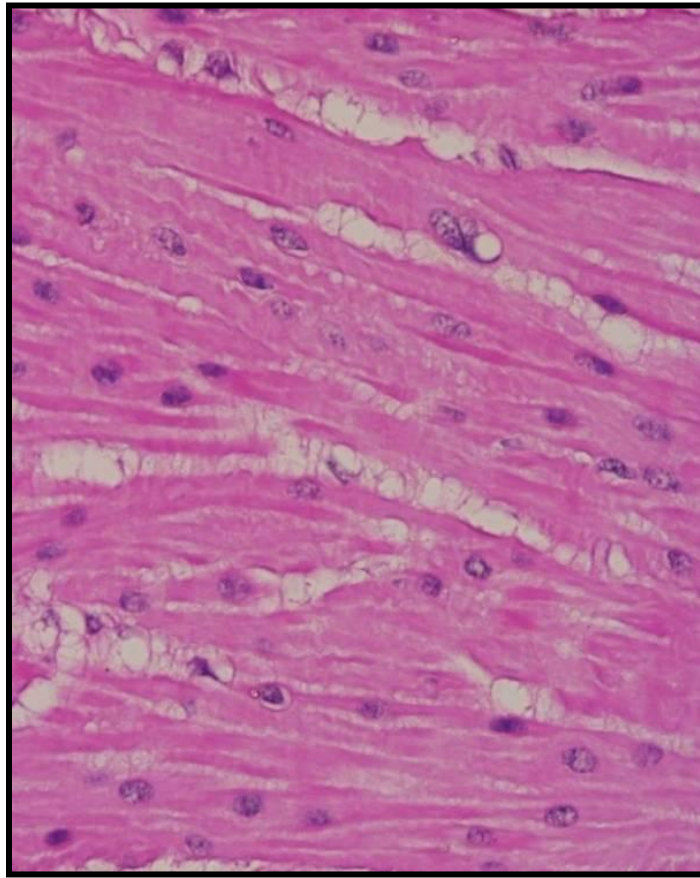


Figura 30. Vasos do tecido adjacente ao tendão flexor digital superficial rodeando uma artéria bloqueada, à esquerda. A estrutura da túnica média mostra dissociação celular e das fibras. H&E, x40

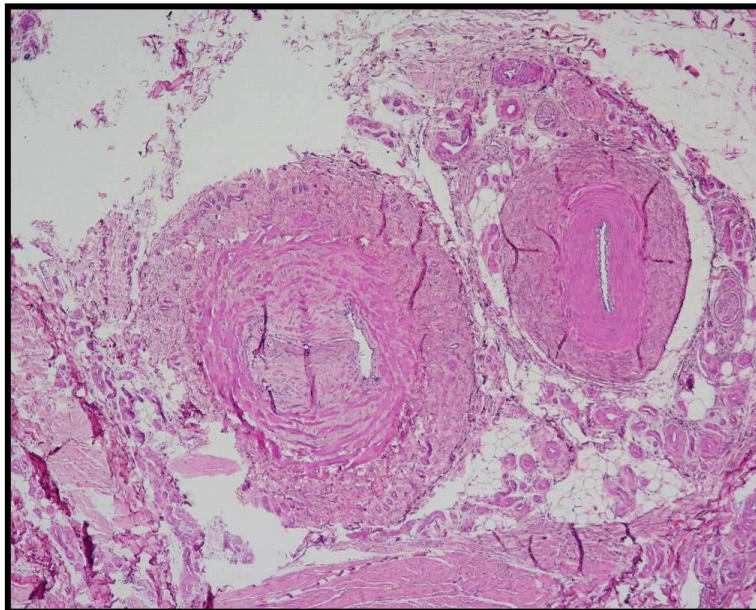


Figura 31. Vasos do tecido adjacente ao tendão flexor digital superficial. Edema das células da túnica média (H&E, x400).

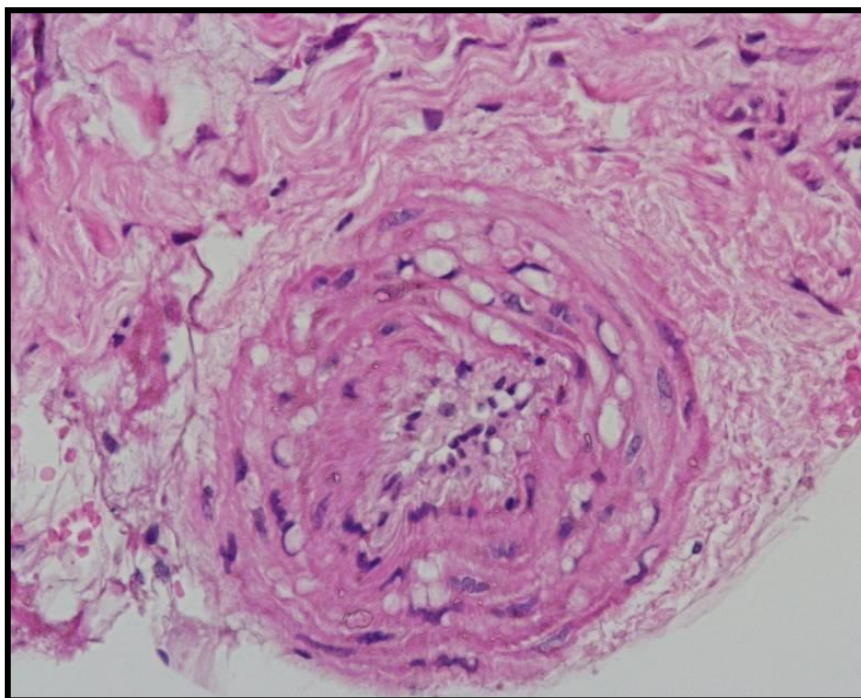


Figura 32. Pequena artéria nos pulmões, mostrando dissociação das células da túnica média e adventícia. (H&E, x400)

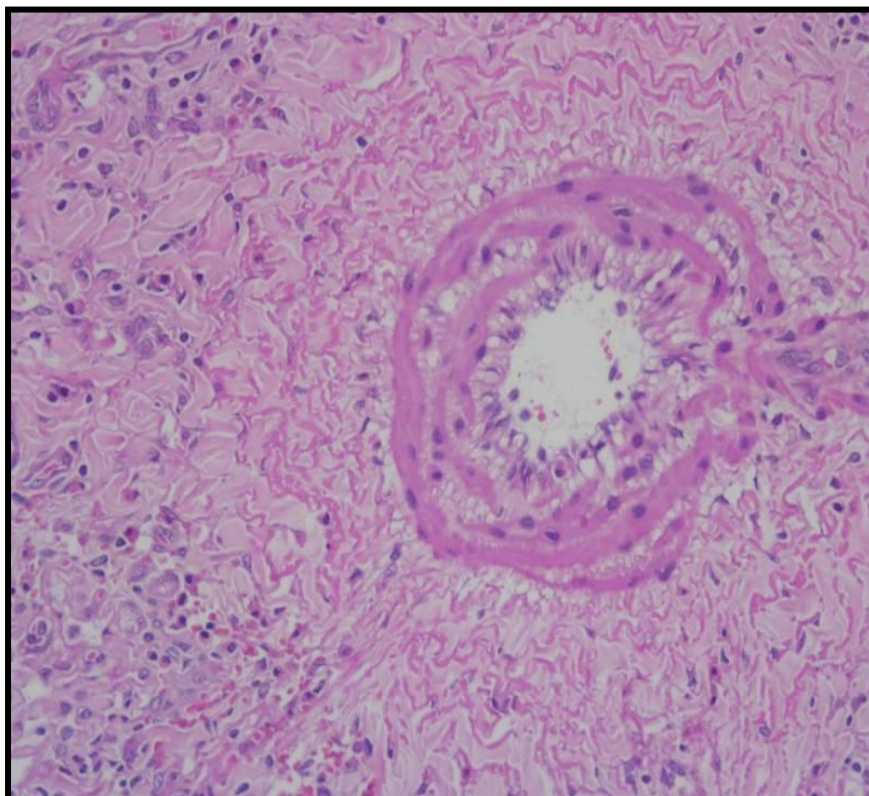
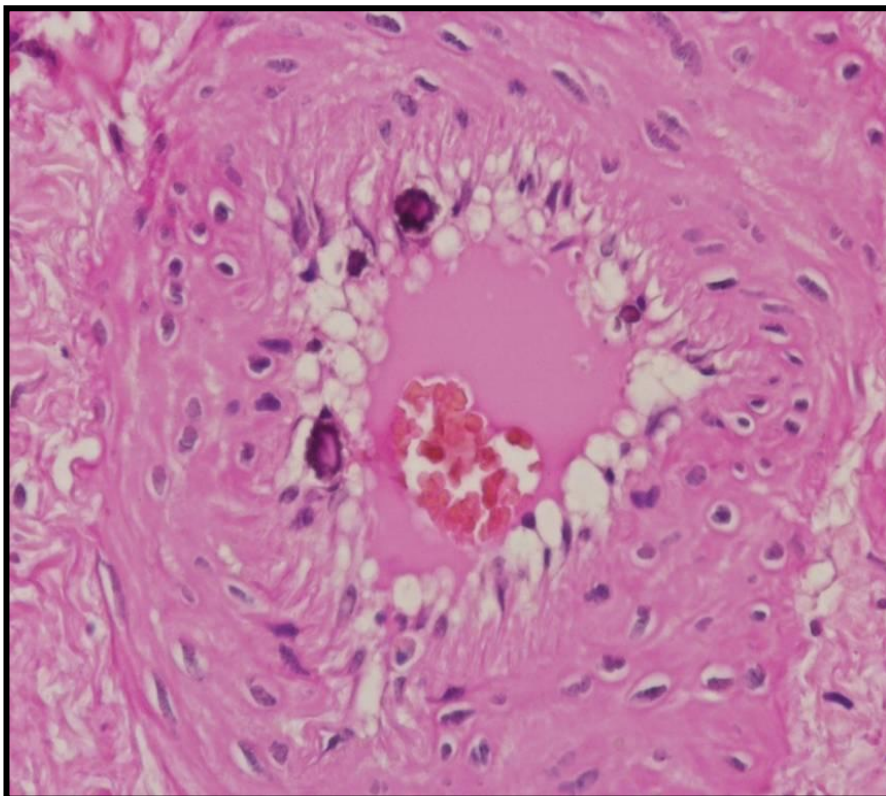


Figura 33. Pequena artéria nos pulmões, mostrando calcificação subintimal – *corpora intima* H&E, x400



3.9. Medições do ruído

No âmbito da quantificação do ruído realizaram-se medições em vários locais da Coudelaria e muito próximas do próprio aerogerador.

Nas medições de ruído realizadas, foi captado ruído de baixa frequência em diferentes frequências e ruído tonal (ruído em que a frequência emitida apresenta sempre o mesmo valor), proveniente principalmente das engrenagens do rotor da turbina eólica. Foram realizadas campanhas de medição, ao longo de vários dias e em diferentes períodos do dia e com condições climáticas variáveis. Não obstante, as medições de ruído e sua propagação, exigem um processamento detalhado dos dados obtidos, bem como uma análise especializada dos mesmos para produzirem factos que permitam levar ao estabelecimento de uma possível correlação entre os mesmos e as alterações que se manifestaram nos equinos da Coudelaria.

Durante este estudo não foi possível inferir com segurança acerca da relação entre as frequências das ondas sonoras emitidas pelas TE e as alterações celulares descritas no ponto acima nem das lesões que possam advir dessa mesma perturbação sonora com fiabilidade científica.

3.10. Medições de vibrações do solo

Em Anexo (Anexo I) encontram-se resultados completos e o relatório realizado pelo ICIST/IST (Instituto de Engenharia de Estruturas, Território e Construção, do Instituto Superior Técnico)

Foram realizados estudos de medição de vibrações mecânicas. Estes foram realizados pelo ICIST/IST, (Universidade Técnica de Lisboa) por solicitação da Faculdade de Medicina Veterinária.

As vibrações induzidas pelo funcionamento das torres eólicas (movimento das pás e do restante equipamento mecânico existente) apresentam um conteúdo em frequências concentrado nas bandas com frequências médias de 3 Hz, 8 Hz, 15 Hz, 28 Hz e, sobretudo, próximo dos 55 Hz. Admite-se que algumas dessas bandas possam variar com a velocidade de movimentação das pás (que por sua vez estará correlacionada com a velocidade do vento).

As vibrações existentes no interior da exploração concentram-se na banda de frequências próxima, inferior, aos 30 Hz e, sobretudo (de novo), próximo dos 60 Hz. Possivelmente a concentração em torno dos 30 Hz manifesta-se sobretudo nas componentes radiais (cuja transmissão envolve ondas de compressão no solo).

A análise dos resultados anteriores parece apontar para o facto da vibração induzida pela operação das torres eólicas se atenuar muito rapidamente com a distância à fonte (comparando os registos obtidos em E com os obtidos em A1 a A3).

Dentro do perímetro da exploração essa atenuação é já bastante menor, de tal forma que na zona mais próxima das torres eólicas não existe uma correlação directa e unívoca com a distância às mesmas torres (comparando os registos obtidos em A1, A2 e A3).

A atenuação com a distância observa-se de uma forma bastante mais mitigada para zonas da exploração mais distantes e para zonas já consideravelmente afastadas da exploração (comparando os registos obtidos em A1, A2 e A3 com os obtidos em D e também em F).

Importa salientar que não foi efectuada qualquer análise da influência da intensidade do vento nas vibrações induzidas, já que essa intensidade era comparável nas duas campanhas de medições efectuadas.

As análises realizadas no domínio da frequência apontam para uma forte atenuação dos movimentos induzidos com frequências mais baixas, abaixo dos 30 Hz, embora persistam, muito atenuadas, as gamas de frequências de 30 Hz e próxima dos 50 Hz.

IV – DISCUSSÃO

Nos onze equinos do grupo de estudo foi confirmado o diagnóstico de DFAAID, pela realização de exames: clínico, ortopédico, radiográfico, ecográfico e goniometria.

A consulta de referências bibliográficas disponíveis não regista tão grande prevalência desta patologia em apenas uma coudelaria e com um número reduzido de animais.

As DFAAID diagnosticadas foram avaliadas, caracterizadas e quantificadas no âmbito dos exames clínicos e ortopédicos realizados. Em todos os animais se verificou o surgimento da DF nos membros torácicos. Estes suportam, maior peso corporal (60% do peso do cavalo) que os membros pélvicos, além de que, nestes últimos, o ângulo das articulações permite um maior ajustamento e acompanhamento dos tecidos músculo-tendinosos em relação ao crescimento ósseo.

Em 6 equinos verificou-se a expressão unilateral da deformação. Esta patologia cursou com desenvolvimento rápido.

Como relatado, foram investigadas as histórias clínicas e registos de lesões ortopédicas da coudelaria, bem como dos equinos menos jovens que a habitam e aí nasceram antes da mudança das condições ambientais. Em relação ao historial de lesões observadas na coudelaria, importa relatar que, nos anos anteriores à introdução das TE nos terrenos vizinhos, não se verificaram lesões do foro ortopédico semelhantes às descritas neste trabalho. Todos os equinos nascidos antes de 2008 na coudelaria foram observados e considerados correctamente apumados, isto é, não exibiam DF.

Relativamente aos exames complementares de diagnóstico, os achados radiológicos foram compatíveis com a DF observada clinicamente. Verificou-se marcado desvio no eixo das falanges no plano sagital, sub-luxação da articulação interfalângica distal e remodelação óssea ao nível das falanges distal e proximal, devido às forças patológicas a que são submetidas e causadas pelas alterações sofridas pela falta de apoio da sola do casco no solo.

Ultrasonograficamente, tal como esperado, não foram visualizadas alterações das fibras tendinosas, quer a nível morfológico quer a nível da estrutura das fibras. Tal como referido na literatura, as DF desenvolvem-se sem patologia ou alteração

tendinosa. Apenas há uma taxa anormal de crescimento entre o osso e as estruturas flexoras do membro.

Durante os exames clínicos realizados aos equinos do grupo de estudo, não foram identificados processos patológicos que levassem a dor na extremidade distal, como por exemplo abscessos ou hematomas sub-solares, epifisite e outros processos já descritos no Capítulo I deste trabalho. Sendo assim, excluiu-se a etiopatogenia da DF por causas dolorosas, que poderia levar à contração da unidade músculo-tendinosa e consequentemente à referida DF.

Relativamente aos resultados obtidos na realização da ultrasonografia quantitativa os dados colhidos foram comparados a dados obtidos e publicados por Fradinho *et al.*, 2009. Segundo a autora, os valores das medições da VDS no aspecto lateral do MCIII aumentaram significativamente com a idade, enquanto que o mesmo não se verificou nas medições realizadas no aspecto dorsal do referido osso. Foram observados valores semelhantes para os equinos do grupo de estudo e os poldros Lusitanos de outras coudelarias de Portugal.

Um aspecto de relevo neste estudo, foi o facto de dois poldros estudados não terem nascido na coudelaria e portanto não terem relação genética com nenhum outro equino do grupo e ainda assim, decorridos apenas alguns meses de permanência na pastagem, desenvolveram a DF. Estes dois animais foram adquiridos numa fase do seu desenvolvimento em que o crescimento ósseo ocorre de forma muito rápida. Na espécie equina no final dos primeiros 12 meses de vida, em média, os poldros apresentarão aproximadamente 80% das dimensões que irão ter em adultos. De salientar que em todos os animais do grupo de estudo, a DF se verificou numa idade muito jovem, consequentemente, na fase de rápido crescimento ósseo.

Aspecto considerável foi a observação da melhoria clínica de três equinos do grupo quando retirados da pastagem inicial, ao contrário dos 3 outros animais mais jovens, nascidos em 2011, que permaneceram no pasto e continuam a exhibir a DF.

De destacar também a recuperação do equino (“Desplante”), sujeito a desmotomia do LATFDP. Este animal permaneceu estabulado e não apresentou recidiva, enquanto que outro animal, (equino “Canela”), depois de sujeito a desmotomia voltou para a pastagem inicial após a recuperação da cirurgia, e veio a desenvolver novamente DF.

Tal como referido no início deste trabalho, as células em geral, e com particular interesse para este estudo, as células dos tendões e ossos, respondem a estímulos

mecânicos. Essa resposta expressa-se em alterações estruturais e até mesmo na composição das referidas células. Este mecanismo, descrito no Capítulo I deste trabalho, designa-se por Mecanotransdução.

No referido processo, a actina presente no citosqueleto tem um papel determinante, visto que, transmite e modula a tensão entre a MEC, os locais de adesão focal e as integrinas, levando a alterações conformacionais destas últimas, das proteínas G e da composição de canais iónicos. As referidas alterações conformacionais, estimulam os receptores de membrana e induzem complexas cascatas bioquímicas (incluindo ativação de fatores de transcrição) com subsequente síntese proteica, expressão de genes e diferenciação celular. Contudo, na histologia realizada, os tecidos tendinosos avaliados não mostraram alterações significativas na sua estrutura, enquanto que, ao nível de outros tecidos de variados órgãos, se registaram lesões tecidulares aparentemente relevantes.

Não sendo de considerar a influência que a alimentação, o manejo e a origem genética podem ter tido no surgimento dos casos anormalmente frequentes de DF na Coudelaria em estudo, resta avaliar a influência que podem ter tido as alterações ambientais. Ora, a única alteração que se registou a partir do momento em que a patologia se começou a verificar de forma consistente, foi a montagem das sete TE no terreno anexo, numa disposição semicircular, envolvendo em particular a pastagem onde os animais permanecem mais tempo, desde recém-nascidos e até ao desmame. Como referido na Introdução, há dois efeitos a considerar na actividade persistente das TE, que nunca registam períodos de pausa de funcionamento total. Pode suceder alguma deixar de funcionar, mas sempre outras permanecem ativas, dia e noite. Assim, tanto o ruído é permanente, intensificando-se com o aumento da velocidade do vento (ruído das pás em movimento e do rotor), como a vibração transmitida ao solo que, sendo apenas registável por sismógrafos de alta sensibilidade, é perceptível pelas células ósseas, através do supracitado processo de mecanotransdução.

De acordo com consulta bibliográfica, existem estudos que relatam o crescimento osteogénico induzido pela vibração (Rubin *et al.*, 2001).

De facto, o mecanismo da mecanotransdução pode ter assumido um papel determinante neste processo, através do qual forças mecânicas, neste caso vibrações, a que as células foram sujeitas, podem ter levado a uma resposta estrutural do tecido ósseo em crescimento. Por consequência, o osso poderá ter

sofrido um estímulo anabólico excepcional, que se reflectiu no crescimento mais rápido que o esperado.

Assim sendo, o constante e contínuo estímulo mecânico a que os poldros da coudelaria estiveram sujeitos na pastagem a partir da instalação das torres eólicas, poderá ter levado ao desenvolvimento mais rápido do osso, que não foi acompanhado pelos tendões, levando à DF adquirida da articulação interfalângica distal.

Relativamente às lesões tecidulares observadas nos tecidos estudados, é interessante compará-las com o que é referido na literatura como a consequência da pressão das ondas sonoras do ruído, nomeadamente ruído de baixa frequência e infra-som, pode causar nas células (Alves Pereira e Castelo Branco, 2002).

Está descrito em algumas publicações que, quando a frequência emitida pela fonte de ruído e vibração é similar à frequência natural de determinada célula ou tecido, pode levar à ocorrência do fenómeno de ressonância. Este fenómeno físico actua de forma específica para cada frequência, sendo que determinado tipo de célula poderá ser estimulada em detrimento de outro, consoante a diferente frequência a que está exposta.

Contudo, a medição de ruído e sua propagação exige colheita e processamento de dados rigorosa e exaustiva para se atingirem conclusões com interesse científico, de forma a se poder estabelecer uma correlação entre as frequências dessas ondas sonoras e as frequências naturais das células animais e das lesões que possam advir dessa mesma perturbação sonora. No presente estudo não foram encontrados dados com fiabilidade científica acerca das frequências naturais das células dos equinos que se pudesse inferir com segurança acerca do efeito do ruído encontrado nas imediações da Coudelaria com as alterações celulares destes animais.

Na literatura existem poucas referências bibliográficas sobre frequências naturais das células dos animais em comparação com os estudos realizados em humanos em que já estão definidos valores para as diferentes células e órgãos (Hakansson *et al.*, 1994).

A investigação e caracterização de frequências das ondas sonoras que levem a lesões celulares específicas poderá ser um projecto científico interessante, pois poderá levar à compreensão de patologia cuja etiopatogenia ainda não está completamente caracterizada.

Relativamente ao fenómeno das vibrações propagadas pelo solo, é de referir um interessante estudo realizado na Escócia, junto à estação sísmica de Eskdalemuir (ESK). Esta estação monitoriza possíveis explosões e actividades nucleares, baseando-se para tal na quantificação extremamente precisa das ondas de vibração do solo feita por sismógrafos. A importância das medições desta estação para a manutenção de interesses de segurança pública e militar britânica levou a que, depois de campanhas de medição realizadas em vários parques, fosse aconselhado que nenhuma TE fosse implantada num raio de 50km das imediações da ESK. (Styles P. *et al*, 2011).

Tal como referido nos capítulos anteriores deste trabalho, na Coudelaria em estudo foram também realizadas campanhas de medição das ondas mecânicas propagadas no solo para caracterização dessas vibrações.

A compreensão da via que leva a esta DF é importante na medida em que só assim se poderão tomar medidas preventivas para evitar a sua ocorrência, bem como evitar outros possíveis efeitos biológicos que poderão ser nefastos e dessa forma encontrar soluções para os reduzir ou evitar.

Em 2005, não existia nenhuma solução tecnológica de mitigação da vibração emitida pelas TE que pudesse levar à redução da mesma. Actualmente, já foram desenvolvidos sistemas que podem ser eficazes na redução da vibração transmitida ao solo, como por exemplo a tecnologia de amortecimento desenvolvida pela empresa “*Reacted*” que pode ser adaptada ou instalada no momento da construção das TE.

Esta tecnologia foi testada por Styels *et al*, na Universidade de Keeley, em 2009, no contexto do estudo referenciado acima, encomendado pelos Ministério da Defesa, da Economia e Comércio do Reino Unido e a pela instituição que regulamenta as energias renováveis nesse país (Renewable UK).

A tecnologia de mitigação de vibração desenvolvida e utilizada nas TE da região de ESK para assegurar a fiabilidade das medições sísmicas, tem elevado potencial para ser aplicado em parques eólicos cujas TE gerem frequências e/ou amplitudes que possam ser problemáticas para as regiões vizinhas.

V – CONCLUSÃO

O presente trabalho propôs-se estudar as deformações flexurais adquiridas da articulação interfalângica distal (DFAAID) em poldros de uma coudelaria que, nos anos transactos, apresentou variações nas suas condições ambientais devido à instalação de torres eólicas (TE) nos terrenos contíguos.

A compreensão da etiopatogenia desta patologia flexural seria determinante para se inferir sobre a possível causa que está subjacente à alta incidência de DF verificada na coudelaria.

Uma vez que no decorrer dos sucessivos exames realizados aos equinos do grupo, se excluiu a existência de dor primária no membro torácico que pudesse levar ao encurtamento da unidade músculo-tendinosa do TDFP e à consequente DF, considerando ainda que a etiopatogenia do processo pode ser devido ao crescimento ósseo mais rápido que o desenvolvimento do tendão, parece ser esta última a etiopatogenia associada às DFAAID observadas neste grupo de animais.

Tendo em conta as forças mecânicas produzidas pelas TE implantadas nos terrenos adjacentes à Coudelaria, não se podendo concluir em definitivo quanto à sua responsabilidade no processo, não se pode, contudo, pôr de parte a influência que o ruído de baixa frequência e as vibrações mecânicas podem ter tido na etiopatogenia das DF verificadas.

Para o comprovar seria necessário dispor de meios que estão fora do alcance desta tese. Esses meios exigiriam recursos financeiros importantes, que permitissem criar em ambiente experimental totalmente controlado as condições de vibração do ar e do solo a que os poldros são sujeitos assim que nascem, monitorizando as alterações do crescimento ósseo.

O facto de, no poldro necropsiado com sete meses, se ter verificado diversas alterações estruturais em tecidos que contêm células ricas em esqueleto fibrilhar (tecido cardionector, músculo liso e estriado), sugere que este tema da influência das vibrações no crescimento celular deveria ser alvo de estudos mais aprofundados.

As TE são encaradas como pouco prejudiciais para o ambiente, tendo a legislação portuguesa obrigado apenas a estudos de impacto ambiental quando no mesmo parque se instalam mais de oito torres.

Contudo, caso se venha a comprovar no futuro que a sua presença pode ter efeitos nocivos, mais cuidado haverá na prevenção da sua instalação na proximidade de agregados populacionais ou de explorações pecuárias.

Na ignorância desses efeitos e uma vez levantada a suspeita, já nos parece suficiente motivo para que sejam tomadas precauções quanto aos locais onde será no futuro autorizada a sua instalação.

BIBLIOGRAFIA

- Adams, S. B. and Santschi, E. M.** (2000). Management of Congenital and Acquired Flexural Limb Deformities. In *AAEP Proceedings*, vol. 46, pp. 117-125. San Antonio, Texas: AAEP.
- Aguilera, P.** (2007). Potencial de Uso da Tecnologia de Barreiras Acústicas para Redução da Poluição sonora: Estudo de Caso no Lactec. In *Instituto de Engenharia do Parana*, vol. Masters. Parana.
- Antunes, M.** (2009). Exposição ao Ruído de baixas frequências em Meio Ocupacional vs Repercussões na qualidade do sono. *Tese de Mestrado da Faculdade de Medicina de Lisboa*.
- Alves-Pereira, M. & Castelo Branco, N.A.A.** (2007). Vibroacoustic disease: biological effects of infrasound and low frequency noise explained by mechanotransduction cellular signalling. *Progress Biophysics & Molecular Biology*, 93, 256-279.
- Arnoczky, S. P., Lavagnino, M., Gardner, K. L., Tian, T., Vaupel, Z. M. and Stick, J. A.** (2004). In vitro effects of oxytetracycline on matrix metalloproteinase-1 mRNA expression and on collagen gel contraction by cultured myofibroblasts obtained from the accessory ligament of foals. *American Journal of Veterinary Research* **65**, 491-6.
- Auer, J.A. & Stick, J.A.** (2006). *Equine surgery*. (3rd ed.). St. Louis: Sanders Elsevier.
- Auer, J. a.** (2006). Diagnosis and Treatment of Flexural Deformities in Foals. *Clinical Techniques in Equine Practice* **5**, 282-295.
- Bacabac, R. G.** (2000). Bone cell responses to high-frequency vibration stress: does the nucleus oscillate within the cytoplasm? *American Journal Of Physiology*, 3-4.
- Bacabac, R. G., Smit, T. H., Loon, J. J. W. A. V., Doulabi, B. Z., Helder, M. and Klein-nulend, J.** (2006). Bone cell responses to high-frequency vibration stress : does the nucleus oscillate within the cytoplasm ? *The FASEB Journal* **2D**, 858-64.

- Bellhouse, G.** (2004). Low frequency noise and infrasound from wind turbine generators. A literature review. In *Prepared for EECA, Bel Acoustic Consulting, NZ*, pp. 1-39. Wellington, New Zealand.
- Bongiovanni, L., Hagbarth, K. and Stjernberg, L.** (1990). Prolonged muscle vibration reducing motor output in the maximal voluntary contractions in man. *The Journal of Physiology* **423**, 15-26.
- Brammer, A. and Peterson, D.** (2004). Vibration, Mechanical shock and Impact. In *Biomechanics of the Human Body*, vol. 1, pp. 259-286. Maidenhead: The McGraw-Hill Companies.
- Bray, W. and James, R.** (2011). Dynamic measurements of wind turbine acoustic signals, employing sound quality engineering methods considering the time and frequency sensitivities of. In *Noise-Con*. Portland, Oregon.
- Cardinale, M. and Lim, J.** (2003). The acute effects of two different whole body vibration frequencies on vertical jump performance. *Medicina dello Sport* **56**, 287-292.
- Cardinale, M. and Pope, M. H.** (2003). The effects of whole body vibration on humans: dangerous or advantageous? *Acta physiologica Hungarica* **90**, 195-206.
- Cardinale, M. and Wakeling, J.** (2005). Whole body vibration exercise: are vibrations good for you? *British journal of sports medicine* **39**, 585-9; discussion 589. Castelo Branco, N.A.A. & Alves-Pereira, M. (2004). Vibroacoustic disease. *Noise & Health*, 6, 3-20.
- Council, N. H. a. M. R.** (2010). Wind Turbines and Health. A rapid review of the evidence. Australia.
- Dance, S. and Liviani, L.** (2008). Roof-top urban wind turbines in London. In *Accoustics 08 Paris*, pp. 5849-5854. Paris.
- Fahy, F. and Walker, J.** (2000). Fundamentals of Noise and Vibration. *The Journal of the Acoustical Society of America* **108**, 1998.
- Fradinho, M. J., Correia, M. J., Vila-Viçosa, A., Farrin, A., Harris, P. A., Bessa, R. J. B., Caldeira, R. M. and Ferreira-Dias, G.** (2009). Non-Invasive bone assessment by quantitative ultrasonography in Lusitano suckling foals: preliminary study. In *Enutracão. Applied Equine Nutrition.*, pp. 191. Madrid.

- Frost, H. M.** (2001). From Wolff's law to the Utah paradigm: insights about bone physiology and its clinical applications. *The Anatomical Record* **262**, 398-419.
- Greet, T.** (2008). 10th International Congress of World Equine Veterinary Association. In *Proceedings of the 10th International Congress of World Equine Veterinary Association*, (ed. WEVA), pp. 319-21. Moscovo.
- Hakansson, B., Brandt, A. and Carlsson, P.** (1994). Resonance frequencies of human skull in vivo. *The Journal of the Accoustic Society of America* **95**, 1474-1481.
- Harry, A.** (2007). Wind Turbines , Noise and Health February, pp. 1-62.
- Hartmann, M. J., Johnson, N. J., Towal, R. B. and Assad, C.** (2003). Mechanical characteristics of rat vibrissae: resonant frequencies and damping in isolated whiskers and in the awake behaving animal. *The Journal of Neuroscience* **23**, 6510-9.
- Hartzel, D. K., Arnoczky, S. P., Kilfoyle, S. J. and Stick, J. a.** (2001). Myofibroblasts in the accessory ligament (distal check ligament) and the deep digital flexor tendon of foals. *American Journal of Veterinary Research* **62**, 823-7.
- Howe, B.** (2010). Low Frequency noise and infrasounds associated with wind turbine and generator systems. A literature review. In *Environment*. Ontario, Acanada: Howe Gastmeier Chapnik Limited (HGC Engineering).
- Hubbard, H. and Sheppard, K.** (1990). Wind Turbine Acoustics. In *NASA Technichal Paper*.
- Epsilon Associates Inc** (2009). A Study of Low Frequency Noise and Infrasound from Wind Turbines A Study of Low Frequency Noise and Infrasound from Wind Turbines. In *Energy*. Juno Beach, Florida.
- Ingber, D. E.** (1997). Tensegrity: The Architectural basis of Cellular Mechanotransduction. *Annual Reviews of Physiology* **59**, 575-99.
- Kamperman, G. and Richard, J.** (2008). Criteria for Sitting Wind Turbines to Prevent Health Risks from Sound. In *Independant Report*, pp. 1-35.
- Kidd, J. A. and Barr, A. R. S.** (2002). Flexural deformities in foals. *Equine Veterinary Education* **14**, 311-321.

- Killian, M., Cavinatto, L., Galatz, L. M. and Thomopoulos, S.** (2012). The role of mechanobiology in tendon healing. *Journal of shoulder and elbow surgery* **21**, 228-37.
- Kirikera, G., Sundaresan, M., Nkrumah, F., Grandhi, G., Ali, B., Mullapudi, S., Shanov, V. and Schulz, M.** (2009). Wind Turbines. In *Encyclopedia of Structural Health Monitoring*, vol. 1 eds. C. Boller F. Chang and Y. Fujino), pp. 1-23. Philadelphia: John Willey and Sons.
- König HE, Liebich HG.** Anatomía de los Animales Domésticos, Aparato locomotor, Tomo 1. 2nd ed. Madrid: Editorial Medica Panamericana. 2001.
- Lau, E., Lee, W. D., Li, J., Xiao, A., Davies, J. E., Wu, Q., Wang, L. and You, L.** (2011). Effect of low-magnitude, high-frequency vibration on osteogenic differentiation of rat mesenchymal stromal cells. *Journal of Orthopaedic Research* **29**, 1075-1080.
- Leventhall, G.** (2003). A Review of Published Research on Low Frequency Noise and its Effects. London.
- Leventhall, G.** (2009). Low Frequency Noise. What we know, what we do not know, and what we would like to know. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control* **28**, 79-104.
- Liedert, A., Kaspar, D., Augat, P. and Ignatius, A.** (2005). Mechanobiology of bone tissue and bone cells. In *Mechanosensitivity in Cells and Tissues*, eds. A. Kamkin and I. Kissileva). Moscovo: Academia Publishing House Ltd.
- Luhmann, L. M., Wickler, S. J., Hoyt, D. F., Kobluk, C. N. and Cogger, E. a.** (2000). Evaluation of shock attenuation in the forelimb of horses wearing boots and wraps. *Journal of Equine Veterinary Science* **20**, 503-510.
- Peck, L., Styles, P. and Toon, S.** (2010). Characterization of Seismic Noise at Selected Cold Regions Research.
- Randall, J., Matthews, R. and Stiles, M.** (1997). Resonant frequencies of standing humans. *Ergonomics* **40**, 879-886.
- Rauch, F.** (2009). Vibration therapy. *Developmental medicine and child neurology* **51 Suppl 4**, 166-8.
- Rogers, A., Manwell, J. and Wright, M.** (2002). Wind turbine acoustic noise. In *A White Paper prepared by the Department of Mechanical and Industrial Enginneering of University of Massachusetts at Amberst.*

- Rooney, J. and Miller, R.** Unilateral Stump Foot (Club Foot) in Horses. <http://www.horseshoes.com>.
- Rubin C, Turner AS, Muller R et al.** Quantity and quality of trabecular bone in the femur are enhanced by a strongly anabolic, noninvasive mechanical intervention. *J Bone Miner Res.* 2002; **17**: 349–57.
- Saccorotti, G., Piccinini, D., Couchie, L. and Fiore, I.** (2011). Seismic Noise by Wind Farms: A Case Study from the VIRGO. *Bulletin of the Seismological Society of America* **101**, 568-78.
- Santos, a., Bakker, a. D. and Klein-Nulend, J.** (2009). The role of osteocytes in bone mechanotransduction. *Osteoporos Int* **20**, 1027-31.
- Shepherd, D.** (2010). Wind Turbine Noise and Health in the New Zealand Context. In *Noise and Health*, pp. 1-67.
- Shikata, T., Shiraishi, T., Morishita, S., Takeuchi, R. and Saito, T.** (2008). Effects of Amplitude and Frequency of Mechanical Vibration Stimulation on Cultured Osteoblasts. *Journal of System Design and Dynamics* **2**, 382-388.
- Simth, D. R. and Leggat, P. A.** (2005). Whole-Body Vibration. *Journal of the American Society of Safety Engineers*, 35-40.
- Solicitors, M. a. F.** (2011). Rowantree Wind Farm Statement on behalf of the Secretary of State for Defence Seismological Array, Eskdalemuir, pp. 1-10. London: Ministry of Defense, UK.
- Styles, P., Toon, S., England, R., Wright, M., Geophysics, E., Sciences, E. and Sciences, G.** (2005). Microseismic and Infrasound Monitoring of Low Frequency Noise and Vibrations from Windfarms. Recommendations on the Siting of Windfarms in the Vicinity of Eskdalemuir, pp. 1-125. Keele.
- Styles, P., Westwood, R. F., Toon, S. M., Buckingham, M., Marmo, B. and Carruthers, B.** (2011). Monitoring and mitigation of low frequency noise from wind turbines to protect comprehensive test ban seismic monitoring stations. In *Fourth International Meeting on Wind Turbine Noise*, pp. 1-13. Rome.
- Torvinen, S.** (2003). Effect of Whole Body Vibration on Muscular Performance , Balance , and Bone. In *Bone*.
- Töyräs, J., Kröger, H. and Jurvelin, J. S.** (1999). Bone properties as estimated by mineral density, ultrasound attenuation, and velocity. *Bone* **25**, 725-31.

- Trotter, G.** Flexural Deformities in Foals. *Orthopaedic Research Centre, Colorado State University*.
- Varela del Arco, M., Llorente, I. S., Borja Velasco, G., Forés Jackson, P. and López San Roman, J.** (2007). Revision de las enfermedades ortopedicas del desarrollo. *Profesion Veterinaria* **16**, 18-24.
- Vella, G., Rushforth, I., Mason, E., Hough, A., England, R., Styles, P., Holt, T. and Thorne, P.** (2001). Assessment of the effects of noise and vibration from offshore farms on marine wildlife, pp. 1-92. Liverpool: University of Liverpool.
- Wang, J. H.-C.** (2006). Mechanobiology of tendon. *Journal of biomechanics* **39**, 1563-82.
- Wang, J. H.-C., Guo, Q. and Li, B.** (2011). Tendon Biomechanics and Mechanobiology-A Minireview of Basic Concepts and Recent Advancements. *Journal of hand therapy : official journal of the American Society of Hand Therapists*, 1-8.
- Wilson, a. M., McGuigan, M. P., Su, a. and van Den Bogert, a. J.** (2001). Horses damp the spring in their step. *Nature* **414**, 895-9.
- Yang, P., Jia, B., Ding, C., Wang, Z., Qian, A. and Shang, P.** (2009). Whole-Body Vibration Effects on Bone Before and After Hind-Limb Unloading in Rats. *Aviation, Space, and Environmental Medicine* **80**, 88-93.



INSTITUTO
SUPERIOR
TÉCNICO

Anexo I

ICIST

MEDIÇÃO DE VIBRAÇÕES MECÂNICAS INDUZIDAS POR TORRES EÓLICAS EM VILA SECA, TORRES VEDRAS

Estudo realizado para a Faculdade de Medicina Veterinária,
da Universidade Técnica de Lisboa

Julho de 2012

Relatório ICIST

EP nº 15/12

ÍNDICE GERAL

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	CAMPANHA EXPERIMENTAL DE COLHEITA DE REGISTOS DE VIBRAÇÃO	
	MECÂNICA	3
2.1	GENERALIDADES	3
2.2	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	3
2.3	LOCAIS DE MEDIÇÃO	3
2.4	EQUIPAMENTO.....	5
2.5	IDENTIFICAÇÃO DOS REGISTOS	6
3.	ANÁLISE DOS REGISTOS	7
3.1	GENERALIDADES	7
3.2	INTENSIDADE DAS VIBRAÇÕES	7
3.3	ANÁLISE DE FREQUÊNCIAS	13
4.	CONCLUSÕES	17

1. INTRODUÇÃO

O presente relatório resume os estudos de medição de vibrações mecânicas numa quinta de exploração pecuária, doravante identificada simplesmente por exploração, existente em Vila Seca, Torres Vedras (39° 07' 26'' N; 09° 08' 51'' W). Estes estudos foram realizados pelo ICIST/IST (Instituto de Engenharia de Estruturas, Território e Construção, do IST, Universidade Técnica de Lisboa) por solicitação da Faculdade de Medicina Veterinária, também da Universidade Técnica de Lisboa.

A exploração na qual foram colhidos os registos de vibrações mecânicas dedica-se especialmente à criação de cavalos para toureio.

O objectivo principal dos estudos realizados consiste na caracterização das vibrações mecânicas induzidas em diferentes locais da referida exploração pela operação das torres eólicas existentes na sua proximidade, tendo em vista analisar os eventuais efeitos nos cavalos das vibrações resultantes dessa operação.

2. CAMPANHA EXPERIMENTAL DE COLHEITA DE REGISTOS DE VIBRAÇÃO MECÂNICA

2.1 Generalidades

Apresenta-se de seguida o procedimento experimental adoptado, compreendendo a descrição dos locais de colheita e do equipamento utilizado, assim como a identificação dos registos.

2.2 Procedimento Experimental

O procedimento experimental adoptado consistiu na colheita de registos triaxiais¹ de vibração em diferentes locais situados dentro da exploração, assim como em alguns locais situados fora da mesma, mais próximos ou afastados das torres eólicas.

Os aparelhos de medição de vibrações foram instalados sobre o terreno, tendo sido colhidos registos digitais de vibração com durações variáveis, próximas de 1 minuto.

A colheita dos registos foi realizada em duas ocasiões distintas: 22 de Março de 2012 e 25 de Junho de 2012. Na primeira recolha de dados verificaram-se, em alguns dos locais, potenciais anomalias no procedimento de colheita dos registos – efeito do vento (os aparelhos de medição não se encontravam protegidos) e efeitos de movimentação humana e de animais na proximidade – que, de uma forma geral, conjugado com o reduzido nível de vibrações ambientais existente, fazem com que se tenha optado por uma segunda recolha de dados. Nessa segunda recolha de dados foram tidos os cuidados que se verificaram ser necessários para que os registos se referissem exclusivamente aos efeitos da vibração ambiental.

2.3 Locais de medição

No conjunto das duas ocasiões anteriormente referidas procedeu-se à colheita de registos em seis grupos de locais, assinalados na figura 1 e identificados na seguinte lista:

A – exterior, junto a um telheiro, próximo das torres (A1, A2 e A3, consoante distância, decrescente, para as torres eólicas, sendo o local A3 situado junto à vedação da exploração mais próxima de uma das torres), (39° 07' 26'' N; 09° 08' 51'' W);

¹ Esses registos individualizam as três componentes cartesianas da aceleração medida num determinado ponto, sendo as direcções X e Y correspondentes às direcções circunferencial e radial (relativamente à torre eólica mais próxima) e a direcção Z a direcção vertical.

- B** – interior, no estábulo mais próximo das torres (apenas na primeira recolha de dados);
- C** – interior, no estábulo mais afastado das zonas das torres (apenas na primeira recolha de dados);
- D** – exterior, numa zona afastada das torres (planalto), (39° 07' 31" N; 09° 09' 01" W);
- E** – exterior, fora da exploração, na base de uma das torres (39° 07' 17" N; 09° 08' 33" W);
- F** – exterior, no limite norte da zona urbana da povoação da Folgorosa (39° 08' 00" N; 09° 09' 13" W; não representado na figura 1) apenas na segunda recolha de dados.

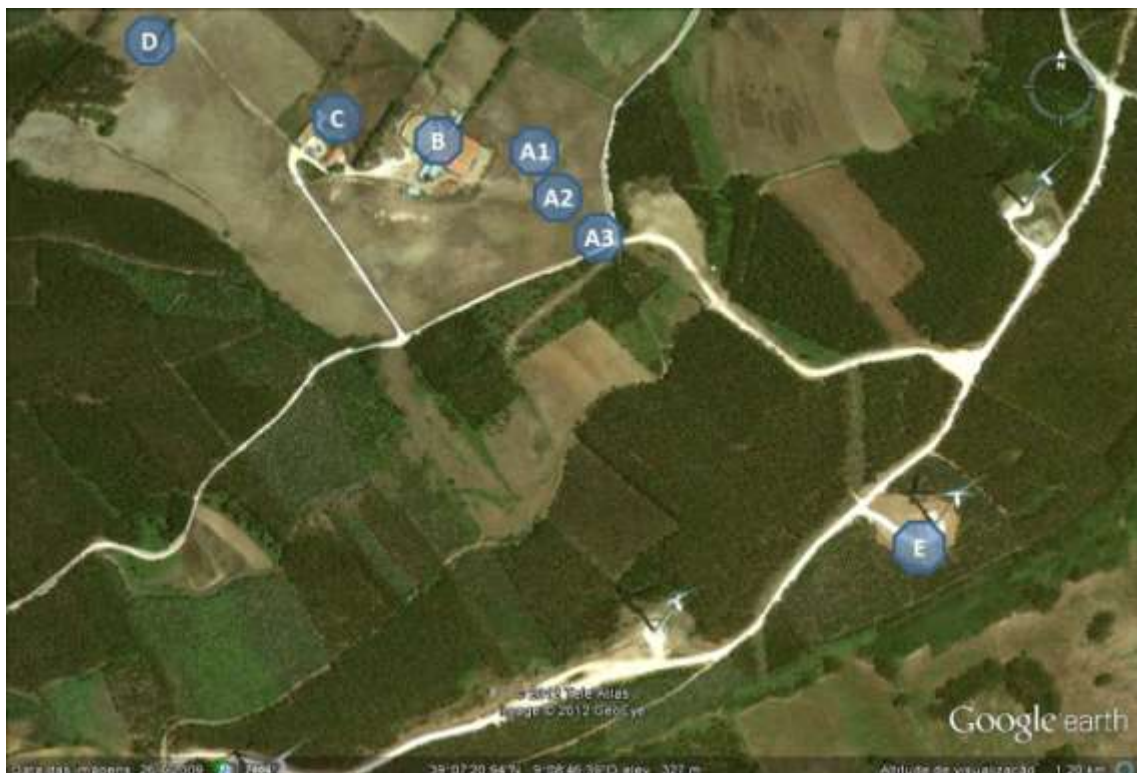


Figura 1: Planta com a localização dos pontos de colheita de registos (fonte: GoogleEarth).

A título indicativo, a distância entre o local mais próximo (A3) da zona das torres eólicas e a torre eólica mais próxima (E) é de aproximadamente 350m. Ainda a esse título, a distância entre os locais A1 e A3 é próxima dos 100m e a distância do local mais afastado representado na figura 1 (D) e a torre eólica mais próxima (E) é de aproximadamente 800m. O local F está situado fora da exploração numa zona afastada cerca de 1750 metros das torres.

2.4 Equipamento

Os registos de vibração foram efectuados com o recurso a unidades triaxiais de registo digital de acelerações da marca Kinemetrics, modelo ETNA (com sensor interno Episensor), análogas à representada na figura 2. Na primeira data de recolha de dados utilizaram-se três unidades distintas enquanto que na segunda data se utilizou apenas uma unidade.

As características mais relevantes da unidade de registo de vibrações utilizada encontram-se sucintamente indicadas na lista seguinte:

- Sensor triaxial Episensor, com as seguintes especificações:
 - gama dinâmica superior a 135 dB
 - largura de banda do sensor de DC até 200 Hz
 - linearidade $< 1000 \mu\text{g}/\text{g}^2$
 - histerese $< 0.1\%$ do *full scale*
 - sensibilidade cruzada inferior a 1% (incluindo desalinhamentos)
 - *full-scale* seleccionável por *hardware* entre 0.25g e 4g
- Unidade de condicionamento de sinal, digitalização e registo com as seguintes especificações:
 - armazenamento dos registos em cartão PCMCIA interno
 - condicionamento e filtragem analógica do sinal, designadamente através de filtragem passa-baixo com corte a 80% da frequência de Nyquist e 120 dB de atenuação na frequência de Nyquist
 - conversão analógico-digital efectuada com resolução de 18 bits
 - armazenamento dos registos em cartão PCMCIA interno.

A unidade utilizada foi configurada com um *full-scale* de 1g, a que corresponde uma resolução em aceleração, após a digitalização, de $0,0008 \text{ cm/s}^2$.



Figura 2: Unidade triaxial de registo de acelerações.

2.5 Identificação dos registos

Como foi atrás referido, verificou-se que os registos colhidos na primeira recolha de dados apresentavam alguns efeitos espúrios, como sejam a acção do vento e eventualmente passadas humanas e de animais, pelo que se optou por realizar uma segunda recolha de dados. Por esse facto referem-se no presente documento apenas os registos colhidos na segunda recolha de dados, com a excepção daqueles recolhidos no local F. A identificação dos registos encontra-se indicada no quadro 1.

Quadro 1: Identificação dos registos (2ª recolha)

Local	Registo	Observações
A1	CX001	Eólica 1 parada
	CX002	Eólica 2 47 passagens/min.
	CX003	Eólica 3 33 passagens/min.
	CX004	
	CX005	
	CX006	
	CY001	
	CY002	
	CY003	
	CY004	
	CY005	
	CY006	
A3	CZ001	
	CZ002	
	CZ003	
	CZ004	
	CZ005	
	CZ006	
D	DA001	
	DA002	
	DA003	
	DA004	
	DA005	
	DA006	
F	DB001	
	DB002	
	DB003	
	DB004	
	DB005	
	DB006	
	DB007	
	DB008	

Em todos os registos realizados – primeira e segunda recolha de dados – a frequência de aquisição foi de 250 Hz (250 SPS).

A velocidade do vento durante a segunda recolha de dados era, segundo informação do Instituto de Meteorologia, de aproximadamente 27km/h.

Quanto à frequência do movimento das pás dos aerogeradores, verificou-se em ambas as recolhas que esta era variável (de torre para torre e, numa determinada torre, durante o período de observação), situando-se entre 9 e 15 rotações totais por minuto. Considerando que os aerogeradores são de três pás, a este movimento corresponde, por minuto, entre 27 e 45 passagens por minuto das pás pela torre do aerogerador.

De entre as medições realizadas na primeira recolha referem-se os registos CO001 a CO005, colhidos sobre a base da torre eólica mais próxima (local E), neste caso sem perturbações por outras fontes.

3. ANÁLISE DOS REGISTOS

3.1 Generalidades

A análise dos registos foi conduzida procurando correlacionar a intensidade das vibrações ambientais com o local de colheita, procurando assim inferir sobre até que ponto as vibrações ambientais são afectadas pela operação das torres eólicas. Em acréscimo, procedeu-se a uma análise sumária da distribuição em frequência, procurando identificar frequências predominantes.

3.2 Intensidade das vibrações

A intensidade das vibrações pode ser inferida dos traçados (aceleração *versus* tempo) das componentes dos registos. Nesse sentido apresentam-se de seguida (Figuras 3 a 12) os traçados de alguns registos, agrupados por ordem directa da distância às torres eólicas mais próximas. Apresentam-se apenas as imagens dos registos correspondentes às componentes horizontais (X e Y), dado as componentes verticais (Z) serem de menor amplitude. Com efeito, dos vários registos efectuados, pode constatar-se que os valores máximos das componentes verticais das acelerações medidas são, de uma forma geral, aproximadamente iguais a $1/3$, nalguns casos cerca de $1/2$ dos valores máximos das componentes horizontais.

Embora não sejam apresentados, os valores registados na primeira recolha de medições nos locais B e C (interior de dois estábulos) são comparáveis com os valores registados nos locais A1 a A3.

Local E (base da torre mais próxima)

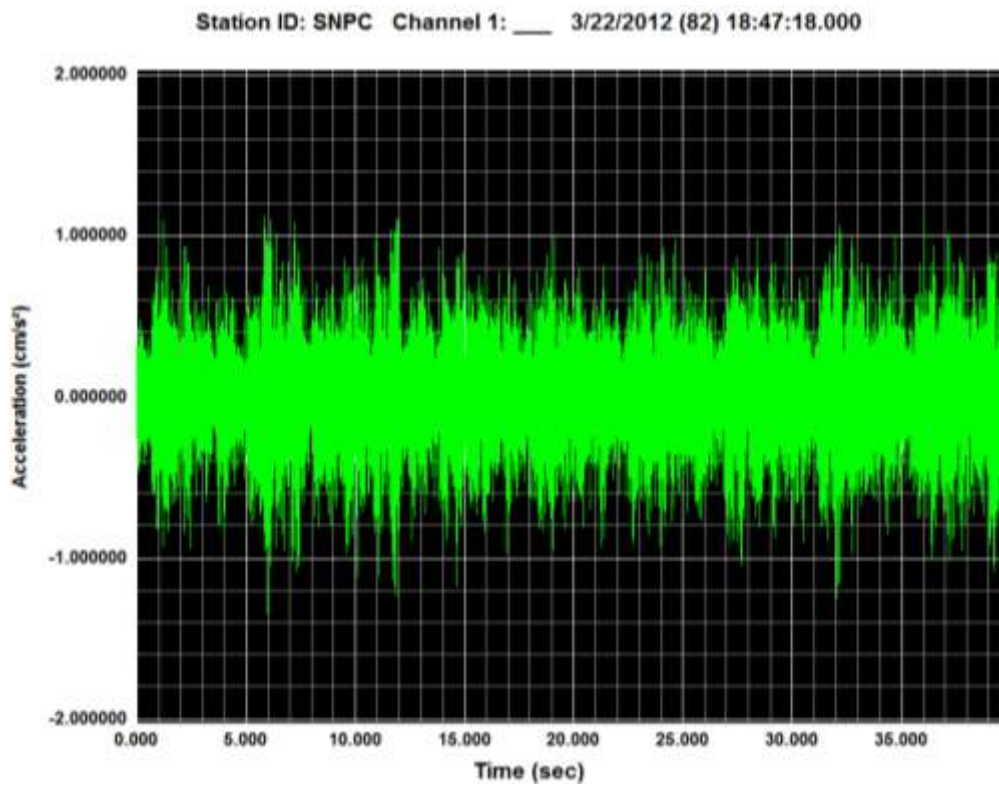


Figura 3: Traçado da componente X, diametral, do registo CO002 (local E).

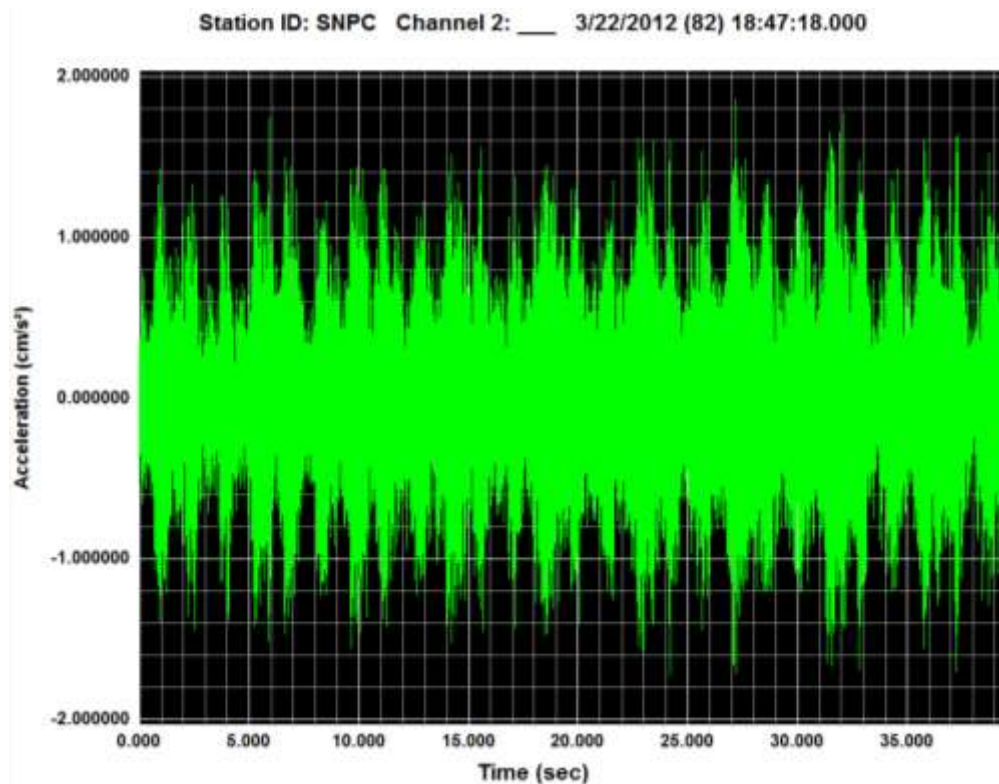


Figura 4: Traçado da componente Y, radial, do registo CO002 (local E).

Local A3 (pastagem, cerca de 350m da torre mais próxima)

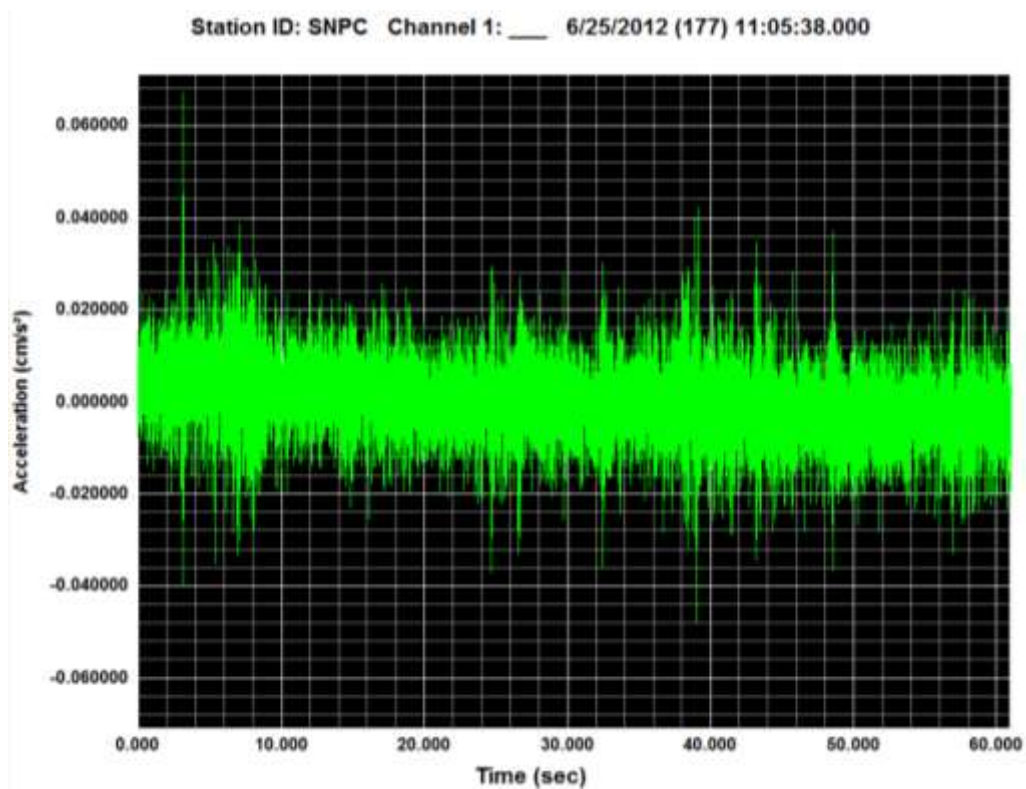


Figura 5: Traçado da componente X, diametral, do registro CZ005 (local A3).

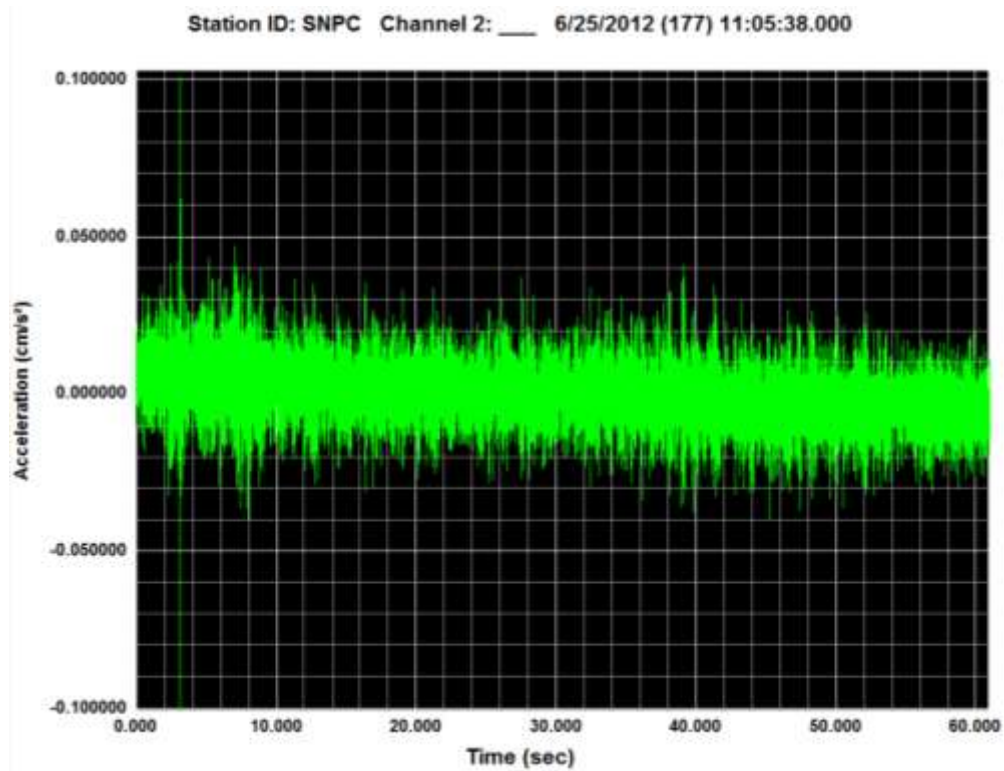


Figura 6: Traçado da componente Y, radial, do registro CZ005 (local A3).

Local A1 (pastagem, cerca de 450m da torre mais próxima)

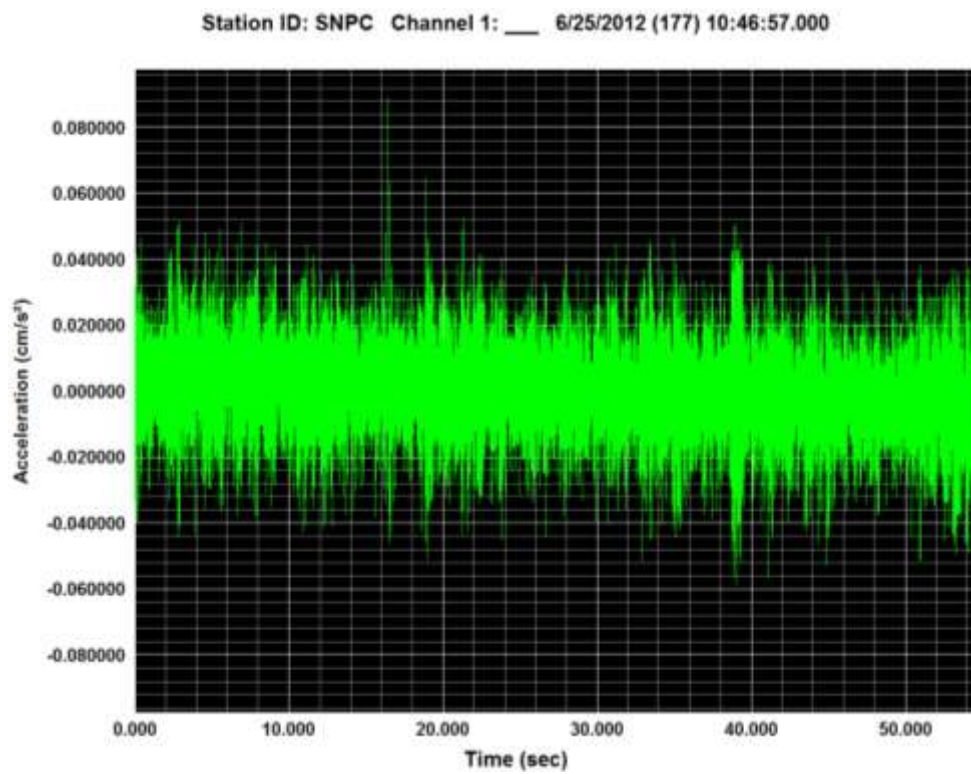


Figura 7: Traçado da componente X, diametral, do registro CY005 (local A1).

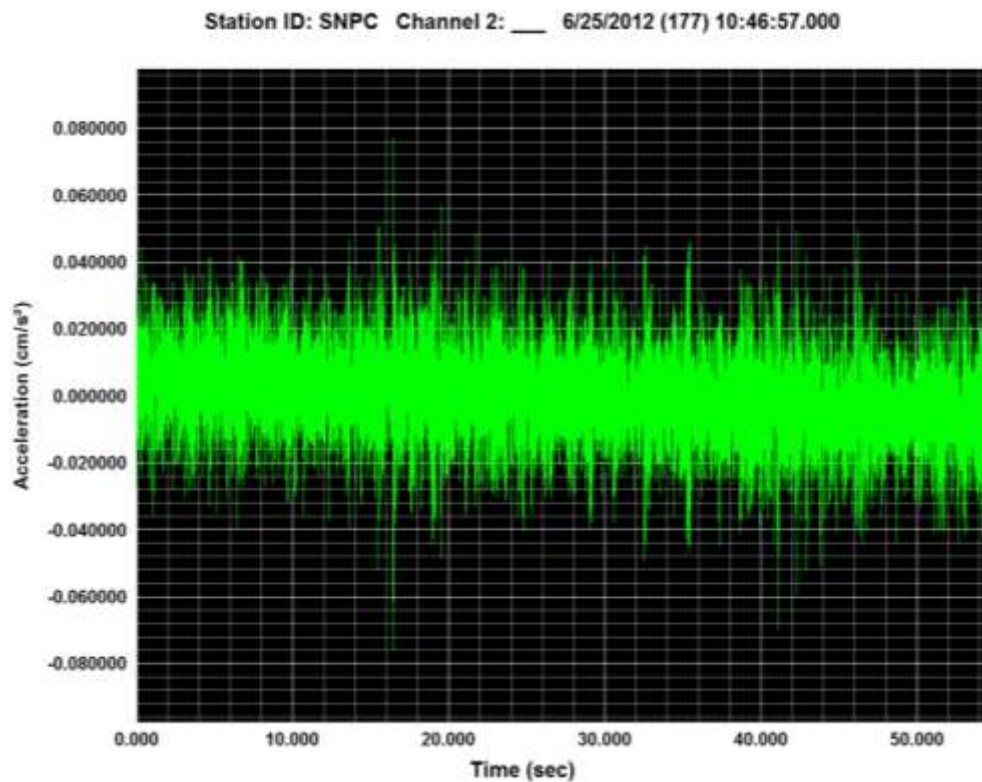


Figura 8: Traçado da componente Y, radial, do registro CY005 (local A1).

Local D (pastagem, cerca de 800m da torre mais próxima)

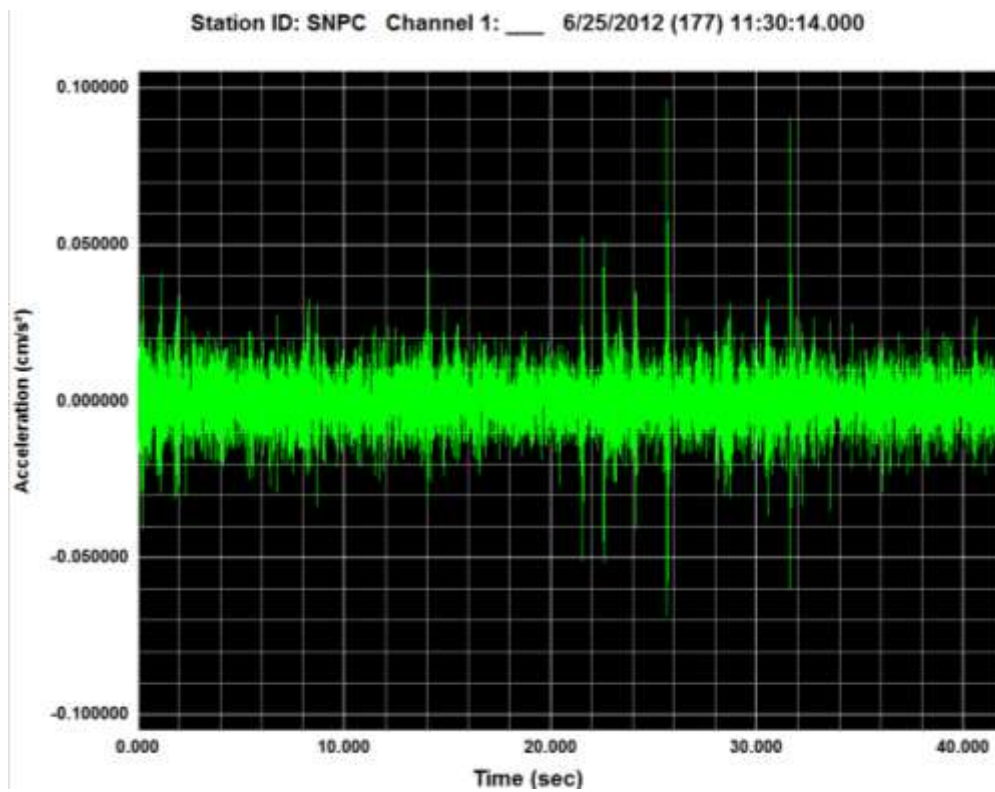


Figura 9: Traçado da componente X, diametral, do registo DA006 (local D).

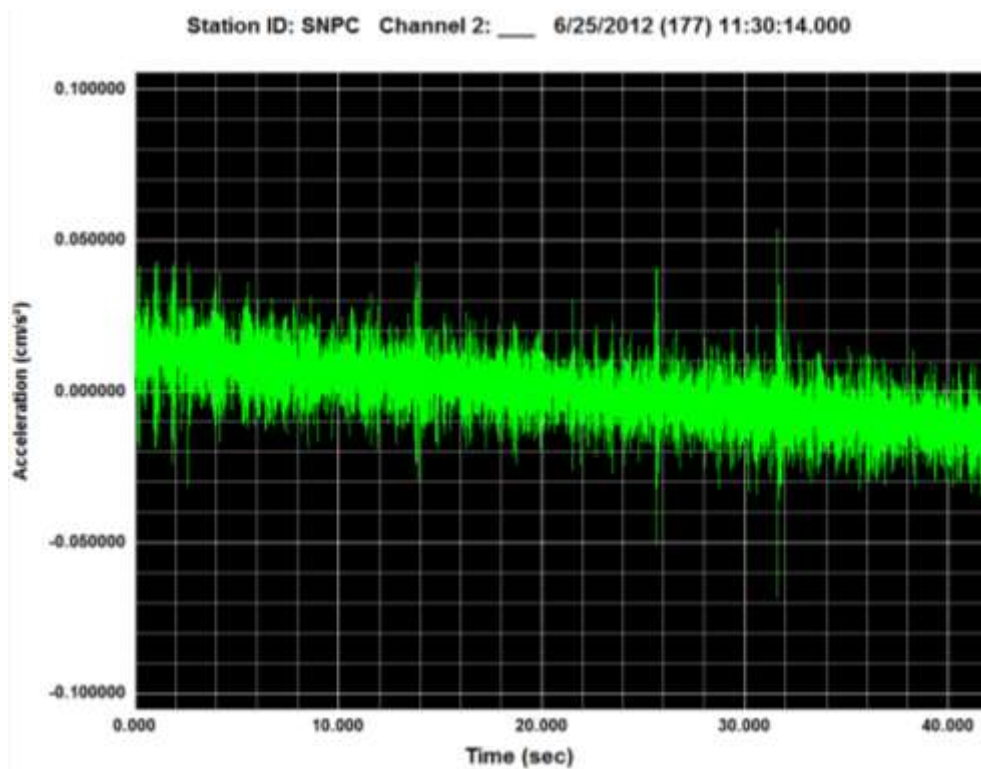


Figura 10: Traçado da componente Y, radial, do registo DA006 (local D).

Local F (mais afastado das torres eólicas, fora da exploração)

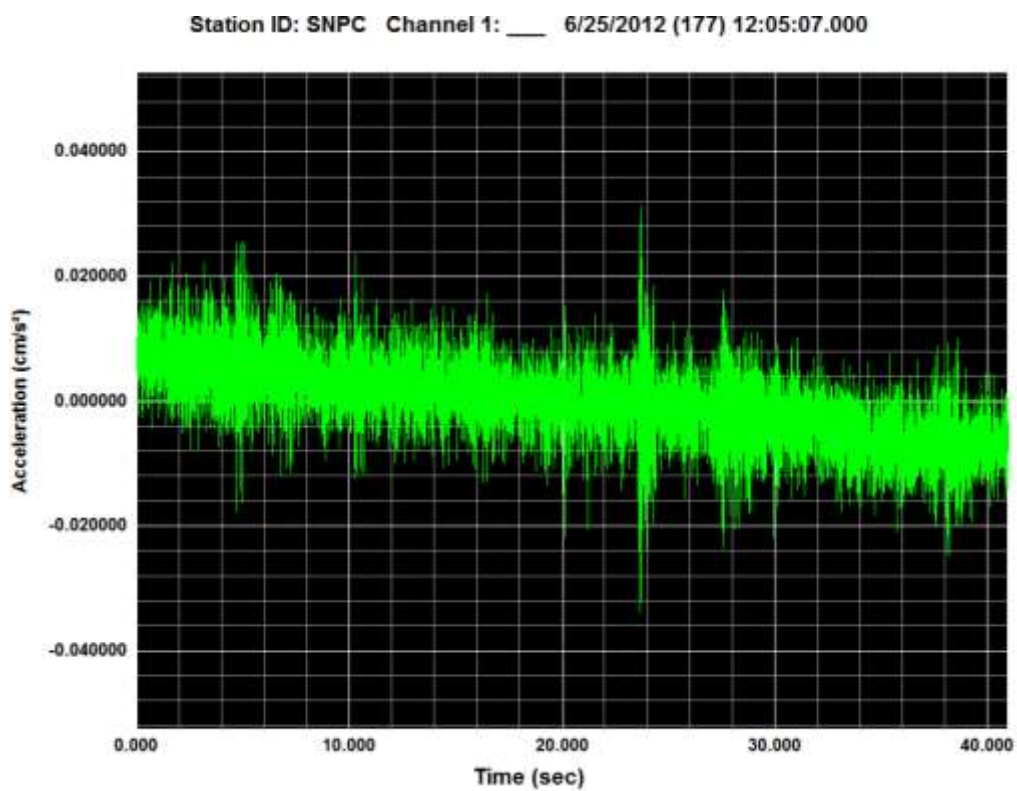


Figura 11: Traçado da componente X, diametral, do registo DB005 (local F).

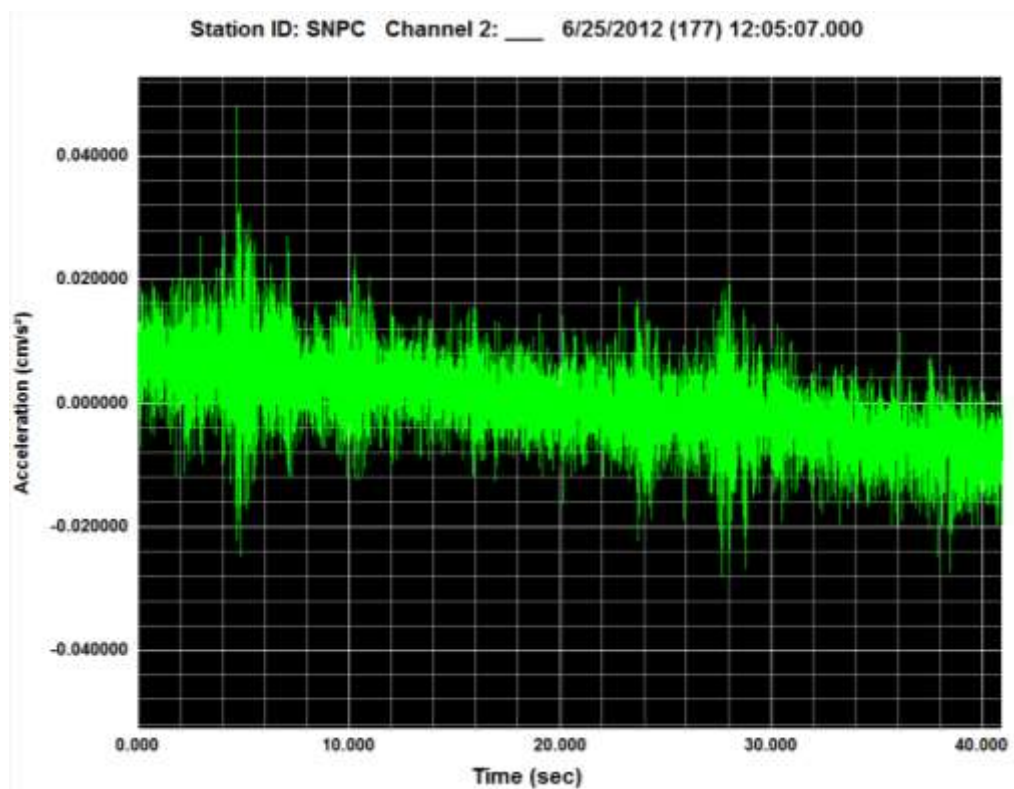


Figura 12: Traçado da componente Y, radial, do registo DB005 (local F).

Da observação das figuras anteriores (Figuras 3 a 12), sobretudo daquelas referentes a registos de menor intensidade (Figuras 10 a 12), verifica-se uma ligeira deriva das leituras (os valores não são sempre centrados em acelerações nulas), que resulta da baixa intensidade e, como se verá, se manifesta numa componente de muito baixa frequência (com um período da ordem de grandeza da duração dos registos). Este facto não obsta a que se possam tirar conclusões relativamente à intensidade das vibrações nos diferentes locais e, consequentemente, à atenuação dessa intensidade com a distância às torres eólicas.

Duma forma resumida e considerando todos os registos colhidos nos diferentes locais, apresentam-se no Quadro 2 os valores máximos de aceleração registados (de novo se adopta aqui uma ordem correspondente à distância à zona das torres eólicas).

Apresenta-se uma gama de variação dos valores máximos (valores de pico)

Quadro 2: Valores máximos de aceleração (radial e diametral)

Local	Diametral	Radial
E - base das torres	0,9 a 1,1 cm/s ²	1,5 a 1,9 cm/s ²
A3 - pastagem, mais próximo das torres	0,03 a 0,04 cm/s ²	0,03 a 0,04 cm/s ²
A1 - pastagem, menos próximo das torres	0,04 a 0,05 cm/s ²	0,04 a 0,05 cm/s ²
D - pastagem, mais afastado das torres	0,02 a 0,03 cm/s ²	0,02 a 0,03 cm/s ²
F - exterior à exploração, afastado das torres	0,015 a 0,02 cm/s ²	0,015 a 0,02 cm/s ²

Da observação do Quadro 2 pode constatar-se que, em termos de valores máximos, o efeito direccional (diferenças entre as componentes diametral e radial) é apenas claro junto às torres eólicas. É ainda visível uma rápida atenuação dos valores máximos com a distância, a qual é consideravelmente menor para maiores distâncias.

3.3 Análise de frequências

Tendo-se concluído que a intensidade das vibrações no interior da exploração é reduzida, a análise dos conteúdos em frequência dos registos foi naturalmente abreviada. Não obstante esse facto, apresentam-se nas figuras seguintes os traçados das funções de densidade espectral de potência (em aceleração) dos registos colhidos junto das torres (local E) e num local representativo das condições existentes na exploração (local A1).

Local E (base da torre mais próxima)

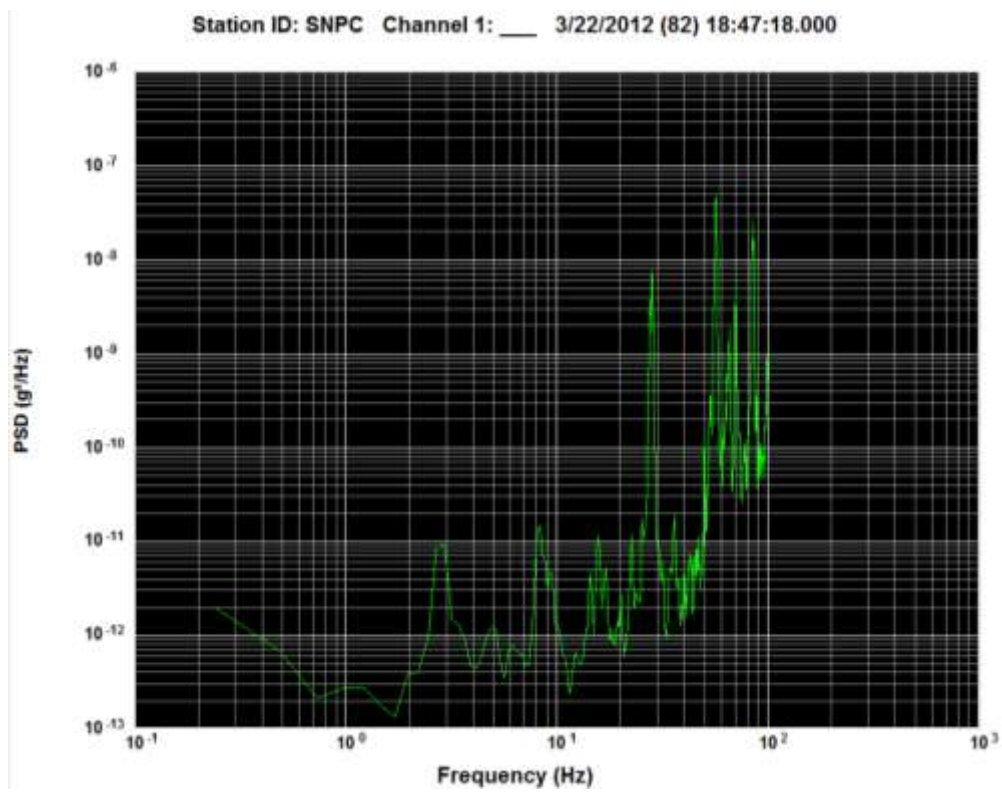


Figura 13: Distribuição em frequência da componente X, diametral, do registo CO002 (local E).

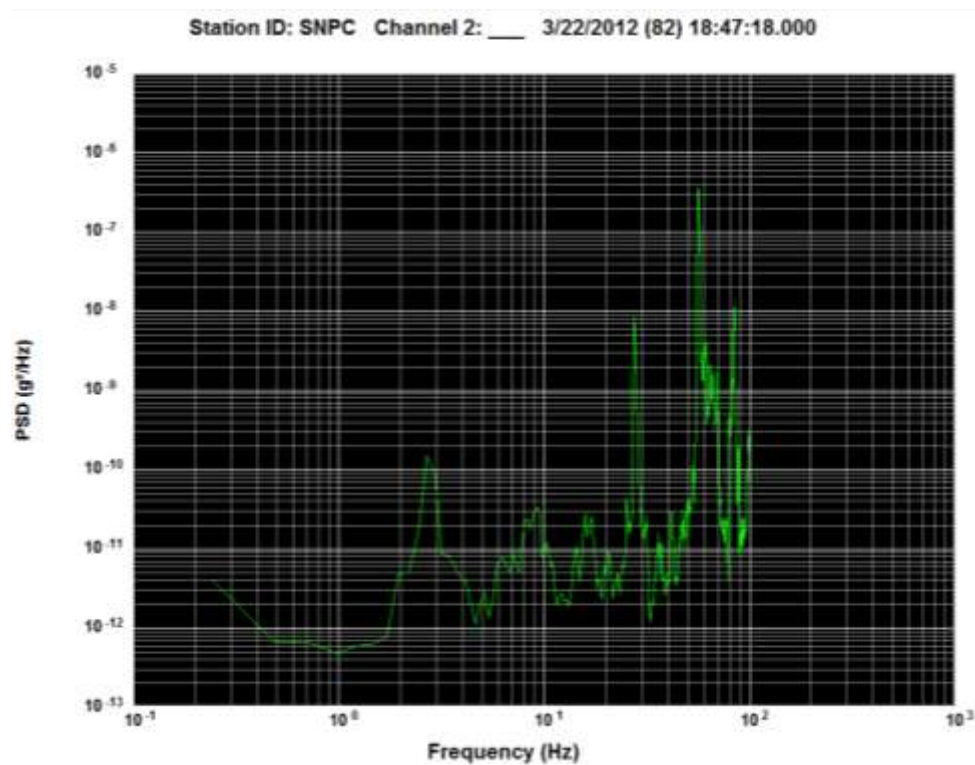


Figura 14: Distribuição em frequência da componente Y, radial, do registo CO002 (local E).

Local A1 (pastagem, cerca de 450m da torre mais próxima)

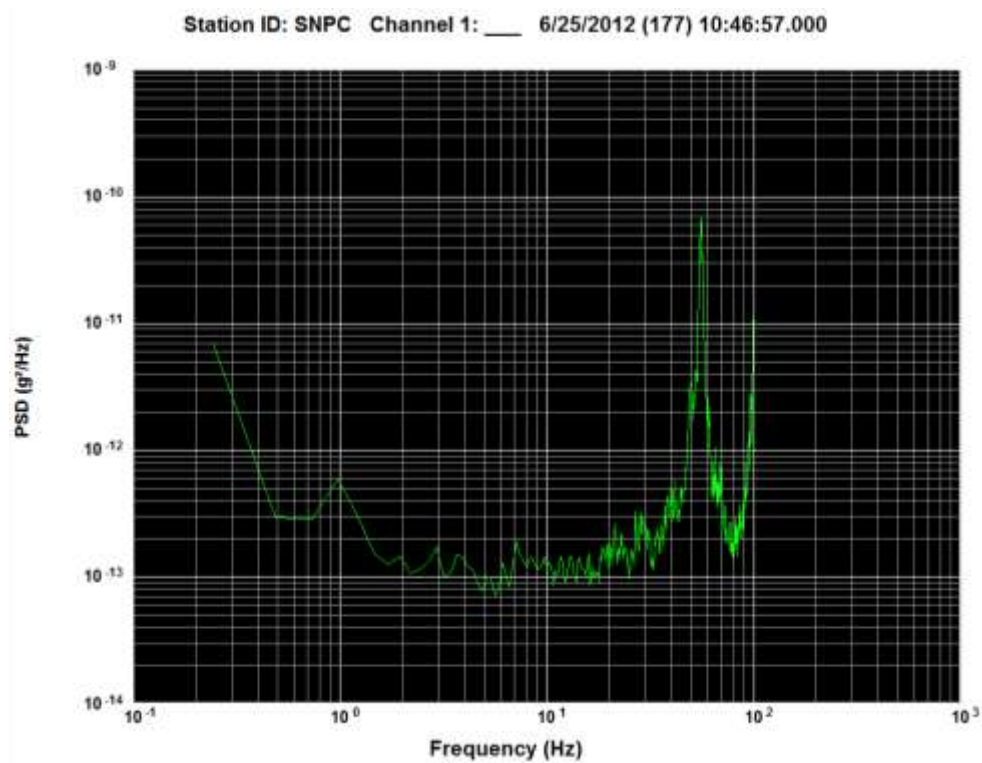


Figura 15: Distribuição em frequência da componente X, diametral, do registro CY005 (local A1).

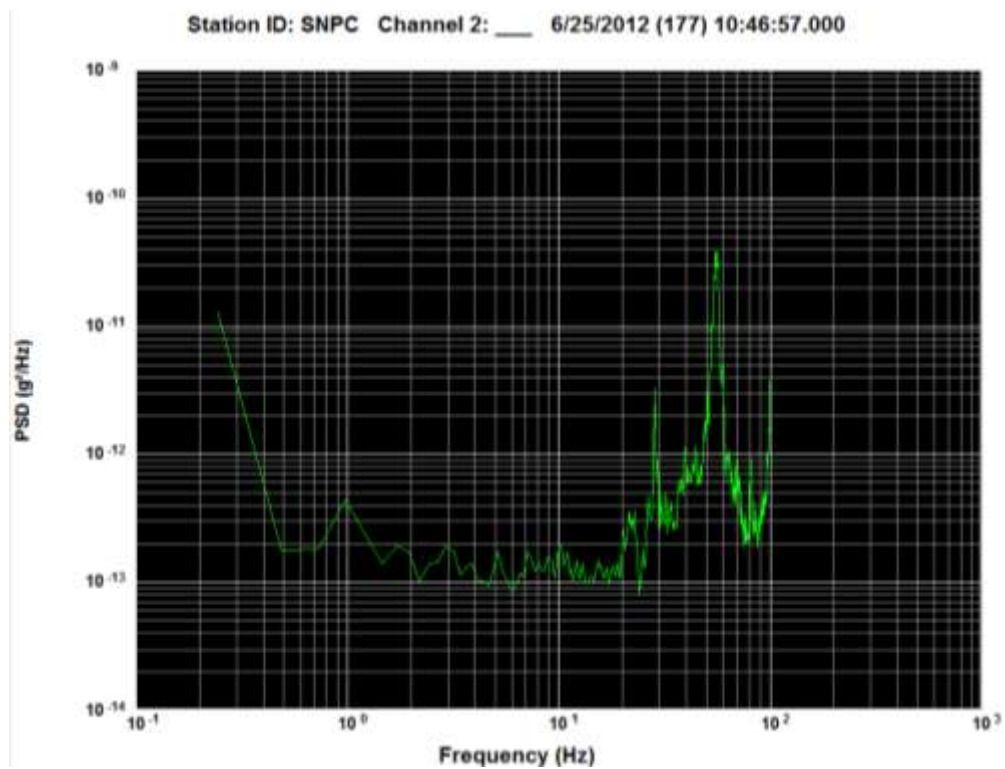


Figura 16: Distribuição em frequência da componente Y, radial, do registro CY005 (local A1).

Da observação das figuras anteriores extraem-se as seguintes conclusões parcelares:

- As vibrações induzidas pelo funcionamento das torres eólicas (movimento das pás e do restante equipamento mecânico existente) apresentam um conteúdo em frequências concentrado nas bandas com frequências médias de 3 Hz, 8 Hz, 15 Hz, 28 Hz e, sobretudo, próximo dos 55 Hz. Admite-se que algumas dessas bandas possam variar com a velocidade de movimentação das pás (que por sua vez estará correlacionada com a velocidade do vento).
- As vibrações existentes no interior da exploração concentram-se na banda de frequências próxima, inferior, aos 30 Hz e, sobretudo (de novo), próximo dos 60 Hz. Possivelmente a concentração em torno dos 30 Hz manifesta-se sobretudo nas componentes radiais (cuja transmissão envolve ondas de compressão no solo).

4. CONCLUSÕES

A análise comparativa dos resultados anteriores parece apontar para o facto da vibração induzida pela operação das torres eólicas se atenuar muito rapidamente com a distância à fonte (comparando os registos obtidos em E com os obtidos em A1 a A3).

Dentro do perímetro da exploração essa atenuação é já bastante menor, de tal forma que na zona mais próxima das torres eólicas não existe uma correlação directa e unívoca com a distância às mesmas torres (comparando os registos obtidos em A1, A2 e A3).

A atenuação com a distância observa-se de uma forma bastante mais mitigada para zonas da exploração mais distantes e para zonas já consideravelmente afastadas da exploração (comparando os registos obtidos em A1, A2 e A3 com os obtidos em D e também em F).

Importa salientar que não foi efectuada qualquer análise da influência da intensidade do vento nas vibrações induzidas, já que essa intensidade era comparável nas duas campanhas de medições efectuadas.

As análises realizadas no domínio da frequência apontam para uma forte atenuação dos movimentos induzidos com frequências mais baixas, abaixo dos 30 Hz, embora persistam, embora muito atenuadas, as gamas de frequências de 30 Hz e próxima dos 50 Hz.

Lisboa, 6 de Julho de 2012

Autores

João Azevedo

Jorge Miguel Proença

Vistos

António Sousa Gago
Coordenador de Núcleo

Jorge de Brito²
Presidente do ICIST

² A assinatura do Presidente do ICIST enquadra-se na obrigação dos Estatutos do ICIST – Cap. III, Art.º 9.3, apenas significando que foi tomado conhecimento da apresentação do presente relatório, uma vez que a responsabilidade pela qualidade científica e ético-profissional é da única responsabilidade dos autores.